

⑩ 日本国特許庁(JP)

④ 特許出願公開

③ 公開特許公報(A) 昭61-230024

⑥ Int. Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑨ 公開 昭和61年(1986)10月14日

G 01 C 19/64
G 01 P 9/00
H 01 S 3/0836723-2F
C-7027-2F
7113-5F

審査請求 未請求 発明の数 2 (全23頁)

⑦ 発明の名称 ファイバ光学回転センサ

⑧ 特 願 昭61-42791

⑧ 出 願 昭61(1986)2月26日

優先権主張 ⑩ 1985年4月1日 ⑨ 米国(US) ⑦ 718607

⑦ 発 明 者 ジョージ・エイ・バブ アメリカ合衆国、カリフォルニア州、サウザンド・オーク
ラス スケイル・ケブラコ、3513⑦ 出 願 人 リットン・システム アメリカ合衆国、カリフォルニア州、ビバリー・ヒルズ
ズ・インコーポレーテッド ノース・クレセント・ドライブ、360

⑦ 代 理 人 弁理士 深見 久郎 外2名

明 細 書

1. 発明の名称

ファイバ光学回転センサ

2. 特許請求の範囲

(1) 感知コイルが形成された長尺の光学ファイバと、感知コイルの回転によって、互いに逆方向に伝搬する1対の波に位相シフトが生じるように、予め定められた位相の1対の互いに逆方向に伝搬する光ビームを感知コイルに導入する装置を含むファイバ光学回転センサであって、位相シフトは、感知コイルの回転を示し、長尺の光学ファイバに形成され、互いに逆方向に伝搬する波の各々に位相シフトを生じ、感知コイルの回転によって生じる位相シフトを調換する装置、および補償装置によって生じる位相変化を示す位相変化信号を生じさせ、感知コイルの回転速度を示す装置を備えることを特徴とする、ファイバ光学回転センサ。

(2) 位相変化信号は、感知コイルの回転速度を示す周波数を有する振動信号である、特許請

求の範囲第1項記載のファイバ光学回転センサ。

(3) 位相変化信号の各振動は、感知ループの予め定められた増分角変位を示す、特許請求の範囲第2項記載のファイバ光学回転センサ。

(4) 補償装置は、光学ファイバに形成され、互いに逆方向に伝搬する波の周波数をシフトし、感知コイルの回転によって誘起される位相シフトを相償する周波数シフト、および

互いに逆方向に伝搬する波の周波数シフトの量を感じ、感知コイルの回転速度を示すカウンタ信号を生じさせるカウンタ装置を含む、特許請求の範囲第1項記載のファイバ光学回転センサ。

(5) 互いに逆方向に伝搬する波間の位相差を示す検出信号を発生させる検出器をさらに含む、補償装置は、検出器信号を最小にするように、逆方向に伝搬する波の位相を調整する、特許請求の範囲第4項記載のファイバ光学回転センサ。

(6) 補償装置は、

長尺の光学ファイバに形成され、1対の互いに逆方向に伝搬する波の第1の波が感知コイルを横

特開2006-230024 (2)

切った後、互いに逆方向に伝搬する波の第1の波の周波数をシフトする第1周波数シフタ、および長尺の光学ファイバに形成され、1対の互いに逆方向に伝搬する波の第2の波が感知コイルを横切った後、互いに逆方向に伝搬する波の第2の波の周波数をシフトする第2周波数シフタを含む、特許請求の範囲第4項記載のファイバ光学回転センサ。

(7) 第1周波数シフタによって生じる位相シフトの量を制御する第1発振器、および

第2の周波数シフタによって生じる周波数シフトの量を制御する第2発振器、をさらに含む、特許請求の範囲第4項記載のファイバ光学回転センサ。

(8) 検出器は、

検出器信号を基準信号で復調し、誤差信号を生じさせるコヒーレント復調器、

誤差信号を処理し、制御信号を生じさせる装置、および

制御信号に応じて、駆動信号を周波数シフタ

に与え、予め定められたしきい値以下に誤差信号を維持する装置を含む、特許請求の範囲第4項記載のファイバ光学回転センサ。

(9) 長尺の光学ファイバに形成され、1対の互いに逆方向に伝搬する波の第1の波が感知コイルを横切った後、逆伝搬波の第1の波の周波数をシフトする第1周波数シフタ、および

長尺の光学ファイバに形成され、1対の互いに逆方向に伝搬する波の第2の波が感知コイルを横切った後、互いに逆方向に伝搬する波の第2の波の周波数をシフトする第2周波数シフタをさらに含む、第1および第2周波数シフタは、感知コイルに関して、長尺の光学ファイバと対称に位置決めされる特許請求の範囲第4項記載のファイバ光学回転センサ。

(10) 感知コイルの回転が、互いに逆方向に伝搬する光波の位相シフトを生じさせるように、感知コイル中を伝搬する、予め定められた位相の1対の互いに逆方向に伝搬する光ビームで回転を感知する方法であって、位相シフトは、感知コイ

ルの回転速度を示し、

感知コイルの回転によって生じる位相シフトを、検出器信号を零にするように補償するために、互いに逆方向に伝搬する波の各々に周波数シフトを生じさせ、かつ

感知コイルの回転速度を示すために、周波数シフトを示す信号を生じさせるステップを含むことを特徴とする、方法。

(11) 感知コイルの回転速度を定めるために、周波数シフトを測定するステップをさらに含む、特許請求の範囲第10項記載の方法。

(12) 感知コイルの回転速度を定めるために、周波数シフトを測定し、かつ

感知コイルの角変位を定めるために、周波数変位信号の振幅をカウントするステップをさらに含む、特許請求の範囲第10項記載の方法。

3. 発明の詳細な説明

発明の背景

この発明は、一般に、回転センサに関するものであり、特定の言葉で言えば、ファイバ光学回転セン

サに関するものである。さらに特定の言葉で言えば、この発明は、回転ファイバ光学ループのサグナック(Sagnac)位相シフトを補償して、回転速度および角変位を測定するために、送受周波数伝搬を用いる、航空機の航法に適用するファイバ光学回転感知システムに関するものである。

ファイバ光学リング干渉計は、典型的に、互いに逆方向に伝搬する光波を有するファイバ光学材料のループを含む。ループを通過した後、互いに逆方向に伝搬する波は結合され、それゆえにその波は、建設的または破壊的に干渉し、光学出力信号を形成する。光学出力信号の強度は、逆方向に伝搬する波の相対位相に依存している干渉の値と値との関数として変化する。

ファイバ光学リング干渉計は、回転感知に特に有用であることが証明されている。ループの回転は、位相差の量がループの角速度の関数である周知のサグナック効果に従って、互いに逆方向に伝搬する波の間に相対位相差を作り出す。互いに逆方向に伝搬する波の干渉によって生じる光学出力

特開昭 61-230024 (公)

信号は、ループの回転速度の関数として、強度が変化する。回転感知は、光学出力信号を検出し、かつ光学出力信号を処理し、回転速度を決定することによって成し遂げられる。

慣性航法に應用するのに適するものにするために、回転センサは、非常に広いダイナミックレンジを有しなければならない。回転センサは、毎秒 0.01° という低さ、および毎秒 1.000° という高さの回転速度を検出することが可能でなければならない。測定されるべき上下限の比率は、ほぼ 10^9 である。

オープンループファイバ光学ジャイロスコープの出力は、検出された回転速度を示す基準に依存する位相シフトを有する正弦波である。その正弦波は、非線形であり、かつ一極でなく、そのことは正確な測定値を得ることを困難にしている。振幅はまた、それが変動する数個のパラメータに依存しているため、変動する。

低いバイアスレベル、および回転に対する高い感知を有するあらゆるファイバジャイロスコープ

が構成されている。しかしながら、以前のすべてのファイバジャイロスコープのダイナミックレンジは、非常に制限されており、かつその出力は、回転速度に関しては非線形である。

発明の要旨

この発明は、航空機の航法システムのような応用に用いるための、以前のすべてのファイバ光学ジャイロスコープの欠陥を克服する、すべてのファイバ光学ジャイロスコープを提供する。この発明は、2つの等しい大きさの逆方向に伝搬する光波を有する、ファイバ光学材料のループを含む。感知ループへの光波入力は、予め定められた偏光を有し、かつその波の偏光は、ループで制御される。感知ループは、周波数シフタ、および位相変調器を含む。サーボ制御回路は、感知ループ、および位相変調器を制御する発振器から出力信号を受ける。サーボ制御ループは、感知ループの出力を零にするように、周波数シフトを制御する。位相シフトの量を制御するために用いられるフィードバック信号の周波数は、感知コイルの回転速度

に線形に比例する。フィードバック制御信号の各サイクルは、感知コイルの回転の固定の角度増分に対応し、それゆえに、フィードバック制御信号のサイクル数をカウントすることで、回転の量を直接測定することができる。

好ましい実施例の説明

第1図を参照すると、この発明による閉ループファイバ光学ジャイロスコープシステム10は、低コヒーレント光源12を含み、これはファイバ14へ入力される低コヒーレント光のビームを出力する。光は、ファイバ14を介して偏光制御器16のポート1まで伝搬し、偏光制御器16は、ポート2で、予め定められた偏光の光をファイバ光学方向性結合器18へ出力する。結合器18は、典型的に50%の結合係数を有し、それゆえに、光入力の半分は、第2ファイバ20へ結合し、それから、E₁で示されるようにジャイロスコープシステム10から消滅される。

方向性結合器18への光入力の残りは、方向性結合器18のポート2まで伝搬し、それから、線

形偏光器22へ入力される。線形偏光器22は、通常、望ましくない偏光の光をファイバ14から結合している間に、所望の線形偏光がファイバ14内で伝搬することができるように選択される。ファイバ14から結合される望ましくない偏光の光は、信号強度の損失を及ぼす。したがって、偏光器22は、好ましくは、望ましくない偏光の強度を示す測定信号を生じる電子フィードバック回路24を含む。検出信号は、ネガティブフィードバック信号として偏光制御器16へ入力され、偏光制御器16を調整し、それゆえに偏光器22への光入力、本質的に所望の偏光のみを有する。

選択された偏光の信号は、それから、偏光器22から、第2方向性結合器26のポート1まで伝搬し、その方向性結合器26は、好ましくは、等しい強度を有する逆方向に伝搬する信号をファイバ14に生じさせるように、50%の結合効率を有する。結合器26を介して真っ直ぐに伝搬し、かつポート2で出力される光は、その後、右回り波と呼ばれる。その右回り波は、ファイバ14の

特開昭61-230024(4)

感知コイル32を通過する前に、位相変調器30に出くわす。

ファイバ光学結合器20で交差結合され、かつポート4で出力される光は、左回り波と呼ばれる。その左回り波は、第2偏光制御器34上に入射される。偏光制御器34から通過する光は、線形偏光器36に入り、そのため、選択された線形偏光の光のみがファイバ14内に留まることができる。左回り波の望ましくない偏光コンポーネントは、ファイバ14から結合される。フィードバック回路38は、望ましくない偏光強度を処理し、ネガティブフィードバック信号として、偏光制御器34へ入力される調製信号を生じ、望ましくない偏光の強度を最小にする。

選択された偏光の光は、偏光器36から周波数シフタ40まで伝搬し、周波数シフタ40は、線形偏光器42へ入力される出力を有し、線形偏光器42は、偏光器36と同様に、第2の選択された偏光の光のみがファイバ14内を伝搬することができるように調整される。線形偏光器36は、

周波数シフタ40に所望の偏光の光を送り出すようにセットされる。線形偏光器42に供給される周波数シフタ40の出力は、線形偏光器36の出力に直交する偏光を有する。偏光器42は、損失なく、この入力を通してするようにセットされる。偏光器42から出力される左回り波は、偏光制御器46を介して伝搬し、それから感知コイルを通過し、それからファイバ14で、位相変調器30まで伝搬を続ける。位相変調器を介して通過した波、交差結合した信号は、それから方向性結合器26のポート2上に入射される。

右回り波は、左回り波と反対の方向に、ループ32を通過する。感知コイル32を通過した後、右回り波は、偏光制御器46を介して、偏光器42まで伝搬する。電子フィードバック回路44は右回り波で望ましくない偏光の光の強度を処理し、偏光制御器46へ入力されるネガティブフィードバック信号を生じる。所望の線形偏光を有する右回り波の部分は、方向性結合器28へ入力するため、ポート4へ伝搬する前に、ファイバ14で、

周波数シフタ40、偏光器36、および偏光制御器34まで伝搬する。周波数シフタ40の右回り波の出力は、偏光器36が伝搬するようにセットされる偏光を有し、それゆえに偏光器36は、右回り波に影響を及ぼさない。

方向性結合器26のポート4へ入力される信号の半分は、真っ直ぐに伝搬し、ポート3で出力され、かつポート3と交差結合するポート2への入力の半分とコヒーレントに結合される。ポート4で方向性結合器28へ入力される信号の半分は、ポート1と交差結合し、かつ結合器26を介して、ポート2からポート1まで真っ直ぐに伝搬した信号の部分と結合される。結合された波は干渉し、かつ干渉パターンを生じさせる。

再結合された波は、ポート1で結合器26を出て行き、かつ線形偏光器22まで伝搬し、線形偏光器22は、再結合された波から望ましくない偏光を除去する。所望の偏光の再結合された波の部分は、線形偏光器22から方向性結合器18まで伝搬し、そこで、再結合された信号の半分は、方

向性結合器18のポート2からポート3に結合し、それから検出器48上に入射される。

発振器50は、位相変調器30、およびコヒーレント復調器52に信号を供給し、コヒーレント復調器はまた、右回り波および左回り波のサグナック位相シフトを示す検出器48から信号を受ける。コヒーレント復調器52の出力は、電圧制御発振器56を駆動するサーボループ電子回路54へ入力される。電圧制御発振器56の出力の一部は、周波数シフタ40へ入力される。電圧制御発振器56の出力の残りは、光学ジャイロスコープシステム10の信号出力を形成し、かつ感知ループ32の回転速度およびその角変位を示す。

アップダウンカウンタ55は、好ましくは、2重チャンネルカウンタであり、電圧制御発振器56から信号出力を受ける。信号のゼロクロスをカウントすることによって、アップダウンカウンタ55は、回転速度を示す信号を生じさせる。回転速度は、適当な表示装置57上に表示される。

第28図を参照すると、ファイバ光学回転セン

特開昭 61-230024 (5)

サ 10 は、感知ループ 32 A を含む、その感知ループ 32 A は、第 1 図に示されるものと実質的に同一の下方分枝、および下方分枝のものと実質的に同一のファイバ光学コンポーネントを含む上方分枝を含む。上方および下方分枝の対応するコンポーネントは、同一の機能を果たす。

結合器 26 から上方分枝への入力力は、位相変調器 30 から偏光制御器 34 A まで、それから、フィードバック回路 38 と類似のフィードバック回路 38 A を含む偏光器 36 A まで伝搬する。所望の偏光の光は、ファイバ 14 に留まり、かつ留ましくない偏光の光は、フィードバック回路 38 A によって処理され、偏光制御器 34 A を調整し、偏光器 38 A への入力を生じさせ、その結果、所望の偏光の強度を最大にし、かつファイバ 14 によって伝搬される光学信号から望ましくない偏光のコンポーネントを実質的に除去する。

偏光器 36 A を出て行った後、信号は、周波数シフタ 40 と実質的に同一である周波数シフタ 40 A まで伝搬する。発振器 50 A は、その益を制

御し、その益だけ、周波数シフタ 40 A は、伝搬する光学信号の周波数をシフトする。周波数シフトを受けた後、信号は、増光器 42 A まで、それから偏光制御器 46 A まで伝搬する。フィードバック回路 44 A は、偏光器 42 A と偏光制御器 46 A との間で接続される。

回転速度および角位置を測定するために、完全なジャイロスコープシステム 10 の動作方法を説明する前に、ジャイロスコープシステム 10 のファイバ光学コンポーネントの構造および動作方法を説明する。

ファイバ光学方向性結合器

光学結合器 18 と 26 はともに、実質的に同一である。したがって、光学結合器 18 の構造および動作方法の次の説明は、この発明の単一モードファイバ構成で用いられる結合器のすべてに適用できる。

第 1 図に図解される、結合器 18、26 のように、単一モードの応用で用いのに適するファイバ光学方向性結合器は、1980 年、3 月 29 日

発行のエレクトロニクス・レターズ (Electronics Letters)、第 16 巻、第 1 号、260-261 頁に説明される。

第 2 図および第 3 図に図解されるように、たとえば、結合器 18 は、1 対のサブストレータまたはブロック 66 および 68 の光学的に平坦な向かい合った表面にそれぞれ形成される 1 対の隣接した溝 62 および 64 にそれぞれ設置される 1 対の単一モードの光学ファイバ 58 および 60 を含む。溝 62 に設置されるファイバ 58 を有するサブストレータ 66 は結合器の半分 10 を含み、かつ溝 64 に設置されるファイバ 60 を有するサブストレータ 68 は、結合器の半分 12 を含む。

溝 62 および 64 はそれぞれ、ファイバ 58 および 60 の直径に比べて非常に大きい曲率半径を有する。溝 62、64 の幅は、ファイバの直径よりわずかに大きく、そのため、ファイバ 58 および 60 は、溝 62 および 64 の底面によって規定される経路にそれぞれ一致することができる。溝 62 および 64 の深さは、それぞれサ

ブストレータ 66 および 68 の中央での最小値から、それぞれサブストレータ 66 および 68 の端部での最大値まで変化する。溝の深さの変化のため、ファイバ光学ファイバ 58 および 60 は、溝 62 および 64 にそれぞれ設置されるとき、サブストレータ 66、68 の中央に向かって徐々に収束し、かつ端部に向かって発散することができ、それによって、モード振動を介してパワー損失を生じさせる、ファイバ 58、60 の方向のいかなる鋭い曲がりまたは急激な方向の変化をも除去する。溝 62 および 64 は、断面が矩形であるが、他の適当な断面形状、たとえば、ファイバ 58、60 を収容する U 字形または V 字形を用いてもよいことが理解されよう。

示される実施例でのサブストレータ 66、68 の中心において、ファイバ 58、60 がそれぞれ設置される溝 62、64 の深さは、製造後のファイバ 58、60 の直径より小さい。サブストレータ 66、68 の端部において、溝 62、64 の深さは、好ましくは、ファイバ 58、60 の直径と

特開昭61-230024 (8)

少なくとも同じくらいである。ファイバ光学材料は、ファイバ58、60の各々から、たとえば研削および研磨によって除去され、サブストレート58、68の直面する表面と同一平面上にある楕円形の平らな表面を形成する。ファイバ光学材料が除去されたこれらの楕円形の表面は、相互作用領域74を形成する。したがって、除去されたファイバ光学材料の量は、サブストレート58、68の端部へ向かう零から、サブストレート58、68の中心部へ向かう最大値まで徐々に増加する。ファイバ光学材料のこのテーパ状の除去により、ファイバ58、60は、徐々に収束および発散することができ、これは、逆方向の反射および光エネルギーの過度の損失を避けるのに有利である。

示される実施例では、結合器の半分70および72は実質的に同一であり、かつサブストレート68および68の表面が直面するように置くことによって絶立てられ、それゆえに、ファイバ58および60の対向する表面は、面した関係に並置される。

の損失を生じる。しかしながら、ファイバ50のコア間の間隔が臨界ゾーン内にあるとき、各ファイバ58、60は、他のファイバ58、60から、エバネセントフィールドエネルギーのかんりの部分を受け、かんりのエネルギー損失なしに良好な結合を成し遂げる。臨界ゾーンは、ファイバ58および60のエバネセントフィールドが、エバネセントフィールド結合を提供するのに十分な強さで、ファイバ60、68のコアにそれぞれ重なる領域、すなわち、各コアが他のコアのエバネセントフィールド内にある領域を含む。しかしながら、前に示したように、モード振動は、コアが互いに極めて近接するときに生じる。たとえば、弱い導波モード、たとえば、単一モードのファイバにおける HE_{11} モードに対しては、モード振動は、ファイバ58、60から十分な材料が除去され、ファイバコアを露出するとき、生じ始める。したがって、臨界ゾーンは、エバネセントフィールドが、実質的なモード振動により誘起されるパワー損失なしに結合を生じるのに十分な強度で重なるコア

光は、相互作用領域におけるエバネセントフィールド結合によって、ファイバ58、60間を伝送される。適当なエバネセントフィールド結合を保証するために、ファイバ58、60から除去される材料の量が、ファイバ58、60のコア部分間の間隔が予め定められた臨界ゾーン内にあるように注意深く制御されなければならないことが知られている。エバネセントフィールドは、クラッドへ近い距離だけ延び、かつファイバコアの外側で、距離とともに大きさが急速に減少する。したがって、十分な材料は、ファイバ58、60のエバネセントフィールド間で、ファイバ60、58のコアとそれぞれ重なることができるように除去されなければならない。極めて少量の材料が除去されれば、コアは、エバネセントフィールドが所望の導波モードの相互作用を生じさせることができるほど十分接近しないだろう。したがって、その結果、不十分な結合となる。逆に、極めて多量の材料が除去されれば、ファイバの伝導特性は変えられ、その結果、モード振動による光エネルギー

間隔として規定される。

特定の結合器に対する臨界ゾーンの広がり、多くの相関するファクタ、たとえばファイバ自身のパラメータ、および結合器の幾何形状に依存する。さらに、ステップ型屈折率のプロフィールを有する単一モードファイバに関しては、臨界ゾーンはかなり狭い。示されるタイプの単一モードファイバ結合器において、結合器の中心におけるファイバ58、60間の必要な中心間隔は、典型的に、コアの直径の数倍（たとえば2-3倍）より小さい。

好ましくは、ファイバ58および60は、(1)互いに同一であり、(2)相互作用領域74において同一の曲率半径を有し、かつ(3)相互作用領域74を形成するために、そこから除去される等しい量のファイバ光学材料を有する。したがって、ファイバ58、60は、相互作用領域74を通じて、それらの対向する表面の平面で対称であり、それゆえに、それらの対向する表面は、重ねられれば同一の広がりを持つ。それゆえに、2

特開昭61-230024 (7)

つのファイバ58および60は、相互作用領域74において同一の伝搬特性を有し、それによって、異種の伝搬特性に関連する結合における減少を避ける。

サブストレートまたはベース66, 68は、適当な绝缘材料で製作されてもよい。好ましい実施例では、ベース66, 68は各々、一般に、ほぼ長さ1インチ、幅1インチ、および厚さ0.4インチの融解石英ガラスのサブストレートを含む。この実施例では、光学ファイバ58, 60は、適当なセメント（示されていない）、たとえばエポキシ接着剤によって、それぞれ溝62, 64に固定される。融解石英サブストレート66, 68の利点は、ガラスファイバと類似の熱膨張係数を有することである。この利点は、サブストレート66, 68、およびファイバ58, 60が、製造工程中に何らかの熱処理を受ける場合に特に重要である。いくつかの応用のために、結合器18は、2つのファイバ58および60のみを含む、対応する露出されたコア部分、サブストレート66,

68に固定されることなく、ともに融解されまたは接着されてもよい。

第2図の結合器18は、1, 2, 3および4で示される4つのポートを含む。第2図の断面図を見ると、ファイバ58および60にそれぞれ対応するポート1および4は、結合器18の左側にあり、一方ファイバ58および60にそれぞれ対応するポート2および3は、結合器18の右側にある。説明のために、入力光は、ポート1に与えられると仮定する。入力光は、結合器18を介して通過し、かつファイバ58と60との間の結合に依存し、ポート2およびポート4の一方または両方で出力される。用語「結合定数」は、全出力パワーに対する結合されたパワーの比率として規定される。上の例では、結合定数は、ポート3で出力されたパワーを、ポート2および3で出力されたパワーの和で割った比率に等しい。この比率はまた、「結合効率」と呼ばれ、かつそのように用いられるとき、典型的に、パーセントとして表示される。したがって、用語「結合定数」がここで

用いられるとき、対応する結合効率は、結合定数の100倍に等しいことを理解しなければならない。たとえば0.5の結合定数は、50%の結合効率に等しい。

結合器18は、サブストレート66, 68の対向する表面をずらすことによって、結合定数を、0と1.0との間の任意の所望の値に調整するように合わせられる。調整は、サブストレート66, 68を、互いに横方向または長手方向にスライドすることによって成し遂げられる。

結合器18は、非常に方向性があり、一方の側には与えられるパワーのほぼすべては、結合器18の他方の側のポートで出力される。実質的に、入力ポート1に与えられる光のすべては、ポート4へのほぼ可能な逆方向性のある結合なしに、ポート2および3まで配送される。同様に、実質的に、ポート2への光入力については、ポート1および4まで配送される。さらに、その方向特性は対称的であり、それゆえに実質的に、ポート4またはポート1に与えられる光のすべては、ポート2お

よびポート3まで配送される。さらに、結合器18は、偏光に関して本質的に差別的でなく、したがって、入力された光の偏光を維持する。したがって、たとえば、第2図に見られるように、垂直偏光を有する光ビームがポート1へ入力されれば、ポート1からポート3に交差結合された光、ならびにポート1からポート4まで真っ直ぐに通過する光は、垂直偏光を維持する。

ファイバ58, 60の一方から他方へ交差結合される光は、 $\pi/2$ の位相シフトを受け、一方交差結合されない光は、結合器18を介して伝搬される間、位相がシフトされない。したがって、たとえば、光がポート1へ入力されれば、ポート3で出力された交差結合される光は、 $\pi/2$ だけ位相が進み、一方ポート2まで真っ直ぐに通過する光は、位相が変化されずに維持される。

結合器18は、低損失装置であり、典型的に、0.1ないし0.2%のオードの挿入損失または通過損失を有する。ここで用いられるような、用語「挿入損失」は、結合器18を介して、一万割

特開昭61-230024 (8)

から他方側まで通過する光の実際の散乱損失を意味する。たとえば、光がポート1に与えられ、かつその光の97%が、ポート2および3(組合わされた)に送れば、挿入損失は、0.02(3%)であろう。用語「結合器伝送」は、1-挿入損失として規定される。したがって、挿入損失0.03(3%)であれば、結合器伝送は、0.07(97%)である。

偏光器

第1図に含まれる偏光器22, 36および42は、実質的に同一である。それゆえに、偏光器の次の説明は、便宜上、偏光器22のみを意味する。

第1図および第8図を参照すると、偏光器22は、光学的に平坦な表面80を有するサブストレート78を含む。コア75およびクラッド77を有するファイバ光学導波管14は、サブストレート78の光学的に平坦な表面80に形成される湾曲した隣内に設置される。サブストレート78の主要な機能は、予め定められた位置にファイバ光学導波管14を保持することであるので、サブス

トレート78は、任意の適当な固体材料から形成されてもよい。好ましい実施例では、サブストレート78は、融解石英のブロックを含む。かつ適当なセメント、たとえばエポキシ接着剤は、スロット84にファイバ光学導波管14を固定する。

第8図に最もよく示されるように、サブストレート78の中央領域において、スロット84の深さは、ファイバ光学導波管14の直径より小さい。クラッド77の外側部分は、光がファイバ光学導波管14から結合される相互作用領域86を形成するために除去される。クラッド77は、相互作用領域86で除去され、サブストレート78の光学的な平坦な表面80と同一平面上にある平坦な表面88を形成する。サブストレート78の端縁では、スロット84の深さは、好ましくは、ファイバ光学導波管14の直径と少なくとも同じくらいであり、それゆえにクラッド77は、損なわれずに維持される。それゆえに、除去されるクラッド77の量は、結合部の半分72の場合と同様に、サブストレート78の端縁でのみから、相互

作用領域86の中央部近くの最大値まで徐々に増加する。

屈折材料から形成される結晶89は、相互作用領域86のファイバ光学導波管14のコア75に極めて近接して、サブストレート78上に設置される。結晶89は、サブストレート78の光学的に平坦な表面80に斜向する光学的に平坦な表面90を有する。結晶89は、ファイバ光学導波管14での光伝導経路を部分的に交差するように位置決めされ、それゆえにエバネセントフィールド結合は、ファイバ光学導波管から結晶89へ光を結合する。

結晶89は、異なる偏光の光に対して、異なる伝送速度を提供するために、屈折材料からなる本体を含む。結晶89での伝送速度がファイバ14での伝送速度より小さい偏光で、ファイバ光学導波管14によって運ばれる光は、結晶89にバルク波を励起し、そのために、光はファイバ14から伝送する。結晶での伝送速度がファイバでの伝送速度より大きい偏光に対して、どのようなバルク波も結

晶89に励起されず、それゆえにそのような偏光を有する光は、ファイバ光学導波管14によって案内されて留まる。それゆえに、屈折材料の結晶89の適当な選択および配向のために、第1の選択される偏光の光は、ファイバ光学導波管14内に維持され、一方第2の選択される偏光の光は、そこから除去され、かつ結晶89を介して、ファイバ光学導波管14から伝送される。結晶89の屈折率は、結晶89の主軸の一方に沿って偏光を有する波が、ファイバ光学導波管14におけるよりゆっくり結晶89内を伝搬し、かつ第2の主軸に沿って偏光を有する波は、ファイバ光学導波管14におけるより速い速度で結晶内を伝搬するくらいである。

結晶89は、少なくとも、ファイバ光学導波管14のコア75の屈折率と等しい、または大きい一つの屈折率、およびクラッド77の屈折率と等しい、または小さいもう一つの屈折率を有するように選択される。好ましい実施例では、結晶89は、コア75の屈折率より大きい一つの屈折率、

特開昭61-230024 (8)

から他方側まで進退する光の実際の散乱損失を意味する。たとえば、光がポート1に与えられ、かつその光の97%が、ポート2および3（組合わされた）に送れば、挿入損失は、0.02（3%）であろう。用語「結合器伝送」は、1-挿入損失として規定される。したがって、挿入損失0.03（3%）であれば、結合器伝送は、0.07（97%）である。

偏光器

第1図に含まれる偏光器22、36および42は、実質的に同一である。それゆえに、偏光器の次の説明は、便宜上、偏光器22のみを意味する。

第1図および第8図を参照すると、偏光器22は、光学的に平坦な表面80を有するサブストレート78を含む。コア75およびクラッド77を有するファイバ光学導波管14は、サブストレート78の光学的に平坦な表面80に形成される湾曲した隣内に設置される。サブストレート78の主たる機能は、予め定められた位置にファイバ光学導波管14を保持することであるので、サブス

トレート78は、任意の適当な剛体材料から形成されてもよい。好ましい実施例では、サブストレート78は、融解石英のブロックを含む。かつ適当なセメント、たとえばエポキシ接着剤は、スロット84にファイバ光学導波管14を固定する。

第8図に最もよく示されるように、サブストレート78の中央領域において、スロット84の深さは、ファイバ光学導波管14の直径より小さい。クラッド77の外部部分は、光がファイバ光学導波管14から結合される相互作用領域86を形成するために除去される。クラッド77は、相互作用領域86で除去され、サブストレート78の光学的な平坦な表面80と同一平面上にある平坦な表面88を形成する。サブストレート78の端部では、スロット84の深さは、好ましくは、ファイバ光学導波管14の直径と少なくとも同じくらいであり、それゆえにクラッド77は、損なわれずに維持される。それゆえに、除去されるクラッド77の量は、結合器の半分72の場合と同様に、サブストレート78の端部でのみ、相互

作用領域86の中央部近くの最大限まで徐々に増加する。

屈折材料から形成される結晶89は、相互作用領域86のファイバ光学導波管14のコア75に極めて近接して、サブストレート78上に設置される。結晶89は、サブストレート78の光学的に平坦な表面80に對向する光学的に平坦な表面90を有する。結晶89は、ファイバ光学導波管14での光伝搬経路を部分的に交差するように位置決めされ、それゆえに二本線セントフィールド結合は、ファイバ光学導波管から結晶89へ光を結合する。

結晶89は、異なる偏光の光に対して、異なる伝播速度を提供するために、屈折材料からなる本体を含む。結晶89での伝播速度がファイバ14での伝播速度より小さい偏光で、ファイバ光学導波管14によって運ばれる光は、結晶89にバルク波を励起し、そのために、光はファイバ14から伝播する。結晶での伝播速度がファイバでの伝播速度より大きい偏光に対して、どのようなバルク波も結

晶89に励起されず、それゆえにそのような偏光を有する光は、ファイバ光学導波管14によって案内されて留まる。それゆえに、屈折材料の結晶89の適当な磨削および配向のために、第1の選択される偏光の光は、ファイバ光学導波管14内に維持され、一方第2の選択される偏光の光は、そこから除去され、かつ結晶89を介して、ファイバ光学導波管14から伝送される。結晶89の屈折率は、結晶89の主軸の一方に沿って偏光を有する波が、ファイバ光学導波管14におけるよりゆっくり結晶89内を伝播し、かつ第2の主軸に沿って偏光を有する波は、ファイバ光学導波管14におけるより速い速度で結晶内を伝播するくらいである。

結晶89は、少なくとも、ファイバ光学導波管14のコア75の屈折率と等しい、または大きい一つの屈折率、およびクラッド77の屈折率と等しい、または小さいもう一つの屈折率を有するように選択される。好ましい実施例では、結晶89は、コア75の屈折率より大きい一つの屈折率、

特開昭61-238024 (9)

およびクラッド77の屈折率より小さい2つの屈折率を有する。屈折率のこの関係のため、結晶89の配向は、他の偏光のロスネス (lossiness) に影響することなく、1つの偏光のロスネスを調整することができる。図解された実施例では、結晶89は、好ましくは、最も大きい屈折率の軸が光学的に平坦な表面88の平面にあるように切断される。

好ましい実施例では、コア部分75の直径は、4ミクロンのオーダーであり、かつ結晶89とコア75との間の分離は、0.1ミクロンのオーダーである。この実施例では、湾曲した溝84は、25cmのオーダーの曲率半径を有し、かつファイバ光学導波管14と結晶89との間の相互作用領域は88、長さほぼ1mmである。

好ましい実施例では、ファイバ光学導波管14のコア75は、ほぼ1.46の効率的な屈折率を有する無定形二酸化ケイ素から形成される。かつ結晶89は、五硼酸カリウム ($\text{KBO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 結晶を含み、これは、真空中では538mm

の波長で、次の屈折率、 $n_a = 1.49$ 、 $n_b = 1.43$ 、および $n_c = 1.42$ 、を有し、ここでa、bおよびcは、結晶89の対称軸に対応する。結晶89は、垂直b軸に垂直な平面で切断される。かつ切断面80は、研磨され、かつ相互作用領域86に、ファイバ光学導波管14に対して置かれる。結晶ファイバ界面90に垂直に偏光された光に対して、結晶89の屈折率 ($n_b = 1.43$) は、ファイバ光学導波管14の屈折率1.46より小さく、そのため、ファイバ光学導波管14内の光伝播は、結晶ファイバ界面90での全内反射のため、そこに留まる。

結晶ファイバ界面90に平行な偏光に対する屈折率nは、次の関係によれば、 $n_c = 1.42$ と $n_a = 1.49$ との間にある。

$$n = \frac{\sin^2 \theta}{n_c^2} + \frac{\cos^2 \theta}{n_a^2} \quad (1)$$

ここで θ は、伝播方向と結晶のc軸との間の角度である。効率的な偏光器では、ファイバ光学導波管14から結晶89への結合効率は、結晶89で

の伝播速度が、ファイバ光学導波管14での伝播速度により近接するにつれて増加するので、結晶89の配向は、結晶89でのより遅い伝播速度をファイバ光学導波管14内の伝播速度に非常に近接させるように選択される。

アセンブリの好ましい方法では、ファイバ14は、適当なセメントを用いて、湾曲した溝84に接着され、かつファイバ14およびサブストレート78は、クラッド77の所望の量が相互作用領域88のファイバ光学導波管から除去されるまで、ともに研磨され、かつ研削される。結晶89の研磨された面90は、それから、サブストレート78の表面80に対して置かれ、かつその間の分離をわずか1ミクロンまで減じるために圧力が加えられる。ほぼ1.45の屈折率を有する屈折率整合の結が、毛管現象によって、結晶89とファイバ光学導波管14との間に挿入され、結晶89とファイバ光学導波管との間に光学整合を提供し、かつサブストレート78上の結晶89を適当に位置決めするために克服されなければならない摩擦

力を減じる。

第9図を参照すると、横方向電磁 (TEM) 波は、典型的に、単一モードファイバに2つの偏光モードを有する。偏光器22へ入力される光は、光線の伝播方向を示す第1の矢印92、および矢印92に垂直で、偏光の一方方向を示す第2の矢印94によって表わされる。偏光の他の方向は、矢印92と94との交差点で、中心に点のある円96によって示される。円96および点は、光学的に平坦な表面90および80に平行な、砥面から外へ向かう偏光ベクトルを表わす。上述したように、結晶89は、ファイバ光学導波管14について切断されかつ配向されて、偏光ベクトル94によって表わされる光に対する結晶89の屈折率は、ファイバ光学導波管14の無効屈折率より小さく、それゆえに、偏光ベクトル94によって示される偏光を有する光は、結晶ファイバ界面での全内反射によって、ファイバ光学導波管を介して、結晶89を通過して伝播する。結晶ファイバ界面90に平行に偏光された光に対して、結晶89の屈折率

特開昭61-230024 (10)

は、ファイバの実効屈折率とはほぼ等しいか、または大きく、それゆえに、結晶89でのこの偏光に對する波速度は、ファイバ光学導波管14での波速度にはほぼ等しいか、または小さい。それゆえに、結晶ファイバ界面90に平行に偏光された光は、結晶89にバルク波を励起し、かつファイバ光学導波管94から出る。その結果、ファイバ光学導波管14内に留まる光は、結晶89の平面90に垂直な方向に、非常に偏光される。

偏光器22の消滅比は、ファイバ光学導波管14に保持される望ましくない偏光モードを有する光の、ファイバ光学導波管14内に保持される所望の偏光モードの光に対する比であり、両モードの偏光器22への入力を等しいと仮定する。前述の説明に従って構成される偏光器22は、わずかに数パーセントの所望の偏光の光のスループット損失とともに、80dBより多く消滅比を提供することが可能である。偏光器22の3つの最も重要なパラメータは、消滅比および挿入損失である。光学ジャイロスコープの応用は、80dBより大

きい消滅比、および10%より小さい挿入損失を必要とする。偏光器22は、約100dBの消滅比を成し遂げることができ、一方最高のバルク光学損失は、約50-60dBの消滅比を有する。

偏光制御器

ファイバ光学装置、たとえば回転センサ10の他施は、ファイバ内の偏光状態に決定的に依存する。この発明のジャイロスコープシステム10に含まれるファイバ光学偏光器16、34および46は、ファイバ光学導波管14での偏光状態を電子的に制御し、任意の偏光入力状態を選び、かつそれを所望の偏光出力状態に変換する。この偏光の交換は、ファイバ光学導波管14で案内される光の光学経路に、3つの調整可能な波面折部を置き、偏光器22への偏光入力状態を制御することによって成し遂げられる。

第4図は、第1図の回転センサで、たとえば偏光制御器16として用いるのに適する偏光制御器の1つのタイプを示す。偏光制御器16はベース98を含み、その上に複数の直立ブロック99-

102が設置される。隣接するブロック99-102間、スプール103-105が、シャフト106-108上にそれぞれ正接に設置される。シャフト106-108は、互いに軸方向に整列され、かつ対応するブロック99-102間に、回転自在なように設置される。スプール103-105は、一般に円筒状であり、かつシャフト106-108に対して正接に位置決めされ、スプール103-105の軸は、シャフト106-108の軸にそれぞれ垂直である。ファイバ14は、シャフト106-108の軸内腔を介して延び、かつスプール103-105の各々のまわりで巻かれ、3本の対応するコイル109-111を形成する。コイル109-111の半径は、コイル109-111の各々に複屈折媒体を形成するようにファイバ14に応力がかけられるくらいである。3本のコイル109-111は、シャフト103-105の軸のまわりでそれぞれ互いに並立して回転され、ファイバ14の複屈折の配向を調整し、したがって、それを介して通過する光の偏

光を制御する。

コイル109-111の直径および巻数は、外側のコイル109および111が、4分の1の波長の位相遅延を提供し、一方中央のコイル110が、2分の1の波長の位相遅延を提供するくらいである。4分の1の波長のコイル109および111は、偏光の相関率を制御し、かつ2分の1の波長のコイル110は、偏光の方向を制御する。偏光制御器16は、ファイバ14を介する光伝搬の偏光の全範囲の調整を提供する。

第5図および第6図は、ジャイロスコープシステム10で用いるための偏光制御器の好ましいタイプを説明する。第7図に示されるように、偏光制御器34および46の各々は、それぞれ3つのファイバスクイーズ126-128および130-132を含み、ファイバ光学導波管14に異方向性の応力をかけ、光弾性効果によって複屈折を誘起する。光弾性効果は、かえられる応力に応じて、ファイバ14の屈折率を変化させる。第5図および第6図を参照すると、ファイバスクイーズ

は、ファイバの実効屈折率とほぼ等しいか、または大きく、それゆえに、結晶 89 でのこの偏光に対する波速は、ファイバ光学導波管 14 での波速にほぼ等しいか、または小さい。それゆえに、結晶ファイバ界面 90 に平行に偏光された光は、結晶 89 にパルク波を励起し、かつファイバ光学導波管 94 から出る。その結果、ファイバ光学導波管 14 内に留まる光は、結晶 89 の平面 90 に垂直な方向に、非常に偏光される。

偏光器 22 の消滅比は、ファイバ光学導波管 14 に保持される望ましくない偏光モードを有する光の、ファイバ光学導波管 14 内に保持される所望の偏光モードの光に対する比であり、両モードの偏光器 22 への入力を等しいと仮定する。前述の説明に従って構成される偏光器 22 は、わずかに数パーセントの所望の偏光の光のスループット損失とともに、80 dB より多く消滅比を提供することが可能である。偏光器 22 の 2 つの最も重要なパラメータは、消滅比および挿入損失である。光学ジャイロスコープの応用は、80 dB より大

102 が設置される。隣接するブロック 99-102 間に、スプール 103-105 が、シャフト 106-108 上にそれぞれ正接に設置される。シャフト 106-108 は、互いに軸方向に整列され、かつ対応するブロック 99-102 間に、回転自在のように設置される。スプール 103-105 は、一般に円筒状であり、かつシャフト 106-108 に対して正接に位置決めされ。スプール 103-105 の軸は、シャフト 106-108 の軸にそれぞれ垂直である。ファイバ 14 は、シャフト 106-108 の軸内径を介して延び、かつスプール 103-105 の各々のまわりで巻かれ、3 本の対応するコイル 109-111 を形成する。コイル 109-111 の半径は、コイル 109-111 の各々に複屈折媒体を形成するようにファイバ 14 に応力がかけられるくらいである。3 本のコイル 109-111 は、シャフト 103-105 の軸のまわりでそれぞれ互いに結立して回転され、ファイバ 14 の複屈折の配向を調整し、したがって、それを介して通過する光の偏

特開昭 61-230024 (10)

きい消滅比、および 10% より小さい挿入損失を必要とする。偏光器 22 は、約 100 dB の消滅比を成し遂げることができ、一方最高のパルク光学損失は、約 50-60 dB の消滅比を有する。

偏光制御器

ファイバ光学装置、たとえば回転センサ 10 の性能は、ファイバ内の偏光状態に決定的に依存する。この発明のジャイロスコープシステム 10 に含まれるファイバ光学偏光器 16、34 および 48 は、ファイバ光学導波管 14 での偏光状態を電子的に制御し、任意の偏光入力状態を選び、かつそれを所望の偏光出力状態に変換する。この偏光の変換は、ファイバ光学導波管 14 で案内される光の光学経路に、3 つの調整可能な複屈折部を置き、偏光器 22 への偏光入力状態を制御することによって成し遂げられる。

第 4 図は、第 1 図の回転センサで、たとえば偏光制御器 16 として用いるのに適する偏光制御器の 1 つのタイプを示す。偏光制御器 16 はベース 98 を含み、その上に複屈折の直立ブロック 99-

光を制御する。

コイル 109-111 の直径および巻数は、外側のコイル 109 および 111 が、4 分の 1 の波長の位相遅延を提供し、一方中央のコイル 110 が、2 分の 1 の波長の位相遅延を提供するくらいである。4 分の 1 の波長のコイル 109 および 111 は、偏光の偏角率を制御し、かつ 2 分の 1 の波長のコイル 110 は、偏光の方向を制御する。偏光制御器 16 は、ファイバ 14 を介する光伝送の偏光の全範囲の調整を提供する。

第 5 図および第 6 図は、ジャイロスコープシステム 10 で用いるための偏光制御器の好ましいタイプを図解する。第 7 図に示されるように、偏光制御器 34 および 46 の各々は、それぞれ 3 つのファイバスクイーズ 120-128 および 130-132 を含み、ファイバ光学導波管 14 に異方向性の応力をかけ、光弾性効果によって複屈折を誘起する。光弾性効果は、かえられる応力に応答して、ファイバ 14 の屈折率を変化させる。第 5 図および第 6 図を参照すると、ファイバスクイーズ

126-128、および130-132の各々は、一般に矩形のフレーム138の矩形のアーチャ136内に設置される圧電アクチュエータエレメント134を含む。圧電アクチュエータエレメントの一端部は、圧電エレメントとフレームの一部との間に保持されるファイバ光学導波管14と接触させる。電界の圧電材料への印加は、印加される電界に依存して、隣接し可能な予断可能な態様で、そこに応力を生じさせることは周知である。通常、圧電アクチュエータエレメント134に生じる応力は、印加される電界に比例する。

ファイバ光学導光システム22は、偏光器22の一方側に3つのファイバスクイーズ126-128、および偏光器22の他方側に3つのファイバスクイーズ130-132を含み、偏光器22で、圧電の偏光入力状態をいずれかの方向から偏光の固有の線形状態に変化させる。ファイバ内で、偏光制御器と偏光器22との間に存在する複屈折を無視することができれば、（これは限られた経路長さについてはほぼあてはまる）、この変換は、

ファイバスクイーズ126-128は、互いに垂直な、かつファイバ光学導波管に垂直な2つの軸に沿って、偏光を変化させることが可能である。

ファイバスクイーズで用いられる圧電材料は、85度より大きいキュリー温度を有するのが好ましい。圧電効果は、キュリー温度より大きい温度で消滅するが、この仕様は、炭酸塩、チタン酸塩、ジルコン酸塩のような材料を用いることによって、容易に充じられる。そのような圧電材料は、約300度のキュリー温度を有する。約8.9mmの高さ、約5.4mmの長さ、および約3.2mmの厚さ、および約10ボルトの印加電圧を有する実用的な大きさの圧電アクチュエータエレメントは、直径約196ミクロンであるファイバに180度の位相変化を生じさせることが予知される。±720°のダイナミックレンジは、このように0ないし80ボルトの制御電圧範囲を必要とし、このため、ファイバ上に、ファイバに接触を生じさせるしきい値力以下の大きさのオーダである、ほぼ 8×10^{-4} dyne/cmの力を生じさ

特開昭61-230024 (11)

2つのスクイーズ、たとえばスクイーズ126、127で成し送られる。ファイバ光学導波管14の複屈折が、偏光制御器46と偏光器22との間で無視することができないほどの経路長さであれば、偏光器22への入力に対する偏光の所望の線形状態を生じさせるために、第3のスクイーズ128が必要とされる。所望の偏光の變化を生じするために、必要な電圧およびファイバ上に働く単位長さあたりの力は減じられ、または偏光制御器のダイナミックレンジは、圧電アクチュエータエレメントの長さを増加することによって広げられる。

第5図を参照すると、ファイバスクイーズ127-128は、それを介して通過するファイバ光学導波管と整列して置かれる。各スクイーズは、ファイバに応力をかける規定された軸を有する。所望の偏光の變化を生じさせるために、かけられた応力の軸は、互いに45°に整列される。各スクイーズは、スクイーズの軸に平行である位相シフト、およびスクイーズの軸に垂直である第2位相シフトを成し送る。それゆえに、3つのファ

せる。

制御回路

第7図、第10図および第11図を再び参照すると、結晶89は、その上に1対の平面140、142を有し、平面142には第1光検出器144が設置され、かつ平面142には第2光検出器146が設置される。第1光検出器144は、その上に、最初ファイバ光学導波管14内を右から左へ伝搬しており、その後ファイバ光学導波管14から結晶89へ結合される光を入射するように配置される。第2光検出器146は、その上に、最初ファイバ光学導波管14を左から右に移動しており、かつそこから結晶89に結合された光を入射するように配置される。第1光検出器144は、信号を第1制御器148へ出力し、第1制御器148は、ファイバ光学導波管14に関して、第5図に示されるように配向されるファイバスクイーズ128-128へ出力信号を出力する。第2光検出器146は、制御信号を第2制御器150へ出力し、第2制御器150は、制御信号をフ

特開明 61-230024 (12)

ファイバスクイーズ 126-132 へ出力する。このように、ファイバ光学偏光器システム 34 は入力光信号の方向にかかわらず、所望の偏光出力の光を生じることが可能である。

任意の偏光状態は、コンポーネント E_x および E_y によって表わされ、ここで E_x は、第 9 図に随して前で説明したように、第 9 図の平面から外へ向けられ、かつファイバ 14 に垂直であるように丸で囲まれた点によって表わされる。 E_y はまた、ファイバ 14 に垂直である。入ってくる光の偏光状態は、2つのパラメータ、 A および Δ によって規定され、この場合 $\Delta^2 = E_x^2 / E^2$ であり、 E は $E_x^2 + E_y^2$ に等しく、かつ Δ は、 x -偏光と y -偏光との間の位相差である。それゆえに、入ってくる信号は、次のようなマトリックス表示で表わされる。

$$1/121 \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \\ (1-A^2)^{1/2} \exp(i\Delta) \end{bmatrix} \quad (2)$$

制御されるべきパラメータは、 Γ_1 および Γ_2

えられる。

$$S(\Gamma_1, \Gamma_2) = -A(1-A^2) \sin \Gamma_2 \sin(\Gamma_1 - \Delta) \quad (3)$$

第 11 図は、偏光器 22 への偏光入力を制御する誤差信号のコンピュータプロットを説明する。曲線 (a) は、変数として Γ_2 を使い、 $A=1$ 、 $\Delta=45^\circ$ および $\Gamma_1=45^\circ$ である。曲線 (b) は、変数として Γ_1 を使い、 $A=0.707$ 、 $\Delta=30^\circ$ および $\Gamma_2=45^\circ$ である。曲線 (c) は、変数として Γ_1 を使い、 $A=0$ 、 $\Delta=30^\circ$ および $\Gamma_2=45^\circ$ である。与えられた偏光入力状態に対して、誤差信号は、 Γ_1 または Γ_2 のいずれかとしノイズに変化する。 $A=0$ または $A=1$ の特別な場合には、誤差信号は、特別な場合の各々では、 Γ_1 を含む項の係数が 0 であるので、 Γ_1 から独立している。これらの特別な場合には、入ってくる偏光状態は、ファイバスクイーズ 126 の軸に平行であるかまたは直交する。ファイバスクイーズ 126 に印加される制御電圧が変化するにつれて、光の位相は、 Γ に等しい量だけ変

であり、これは、スクイーズの軸に関して、ファイバスクイーズ 126、128 による並列と直列位相シフトとの間の差である。第 16 図に示されるように、偏光器 22 への光入力、およびそこからの光出力は、 y -方向にのみ偏光を有するのが望ましい。上で説明したように、結晶 89 は、ファイバ先端導波管 14 内で左から右に移動する x -方向に偏光された光を、ファイバから第 2 光検出器 146 の方へ結合する。偏光器 22 への光入力のすべてが所望の偏光を有すれば、結晶を介して、第 2 光検出器 146 上へ入射される光はないだろう。それゆえに、第 2 光検出器 146 上へ入射される光は、第 1 制御器 156 によって処理される誤差信号としてみなされ、第 1 制御器 156 は、それから制御信号を第 1 スクイーズ 126-128 に送り、誤差信号を零にする。光検出器 146 で観測される誤差信号は、位相差 Γ_1 と Γ_2 との関数であり、これらは、ファイバスクイーズ 126 および 128 に印加される制御電圧に関して線形である。この誤差信号は次の式によって与

化するが、偏光状態は一定に留まる。入ってくる偏光状態が、ファイバスクイーズ 126 の軸と並列されれば、 Γ_2 は、0、 $\pm 2\pi$ 、 $\pm 4\pi$ などにあり、所望の出力を得る。入ってくる偏光状態が、ファイバスクイーズ 126 に直交すれば、 Γ_2 は、 $\pm \pi$ 、 $\pm 3\pi$ などにあり、偏光器 22 へ入力するためにファイバに光の偏光の所望の整列を得る。

制御信号は、 Γ_1 および Γ_2 の変動によって得られ、誤差信号上の効果を観測する。復調は、反復システム、たとえば逐次論理回路 152 を用いる第 10 図に示されるシステムによって成し遂げられる。光検出器 146 の出力は、増幅器増幅器およびフィルタ回路 154 へ入力され、フィルタ回路 154 はまた、適当なバイアス回路 156 からの入力を受ける。増幅されかつフィルタされた信号は、逐次論理回路 152 へ入力するための 8 ビット A/D 変換器であってもよい、アナログデジタル変換器 160 へ入力される。逐次論理回路 152 は、ファイバスクイーズ 126 および 128 を、そこから検出される出力を最

特開昭 61-230024 (18)

設計図

820mm

このように、ファイバ光学周波数器 22 および偏光制御器 16 は、任意の偏光の入ってくる光を処理し、かつ予め選択された偏光の出力光信号を最小限の損失で生じさせるが、すべてのファイバ光学ジャイロスコープ 10 の感知コイル 62 へ入力するための光信号を処理するのに適する。

周波数シフト

第 12 図は、角速度 ω で回転している 2 分の 1 波長板 17 上に入射する円形に偏光された入力光を扱う。入力波は、周波数 f_0 を有するように示される。その波は、 z 方向に移動しており、かつ x および y 軸に沿って、 90° 位相がずれている等しい大きさの偏光ベクトルを有する。それゆえに、偏光ベクトルは、伝播方向に向かって見ながら観察されるとき、 z 軸のまわりを右方向に角速度 ω で回転するようと思われる。2 分の 1 波長板 17 は、偏光ベクトルと同じ方向に回転し、それゆえに出力波は、入力周波数 f_0 から周波数シフトされ、 $f_0 + 2f$ の周波数を有する。

小にするように最適化するアルゴリズムでプログラムされる。反復して、かつ検出される誤差信号に比例する量だけ、逐次論理回路網 162 は、代わりに、予め選択された値以下の最小誤差信号に達するまで、1 刻の掃引ドライバ 162 および 164 をそれぞれ介して、ファイバスクイーズ 126 および 128 に補正を加える。サンプリングおよび補正速度が、好ましくは毎秒 2,000 より大きいとき、逐次論理回路網 162 に発生されるノイズは、ジャイロスコープの応用のためのファイバ光学システムの帯域幅よりかなり高い。一般に、発生されるノイズは、興味ある信号帯域外にある。

偏光器 22 および偏光制御器 16 は、好ましくは、次の仕様によって協働する。

消滅比	> 80 dB
損失	< 10 %
制御帯域幅	500 Hz
偏光ノイズ抑制比	40 dB
交差-偏光抑制比	20 dB

第 13 図は、周波数シフト 17 から可能な周波数出力を図解的に扱う。入力周波数が f_0 であれば、周波数 f で入力ビームの偏光の方向に 2 分の 1 波長板を回転させると、 $f_0 + 2f$ の出力が生じる。周波数 f で円形に偏光される入力波の偏光と反対の方向に 2 分の 1 波長板 17 を回転させると、 $f_0 - 2f$ の出力周波数が生じる。回転周波数 f を制御すると、4 分の 1 波長板の出力周波数が、 $f_0 \pm 2f_{max}$ の範囲を有することができ、ここで f_{max} は、2 分の 1 波長板 17 の最大回転周波数である。

第 14 図は、ファイバ光学周波数シフト 180 を図解し、ここで電極材料は、ファイバ 14 のクラッド 77 を取り巻くジャケット 182 を形成する。ジャケット 182 を形成するのに適する材料は、通常 PVPF₂ と呼ばれるポリリッパ化ビニリデン、および酸化亜鉛 ZnO である。PVPF₂ は、一般に溶解物からファイバ 14 上に与えられる。結核物 190 によって分離される複数の電極 184-187 は、ジャケット 182 上でコーティングさ

れる。電極 184-187 を形成するのに適する材料は、ジャケット 182 上にスパックリングまたは塗付される任意の電気的導電物質である。第 15 図に示される実施例では、PVPF₂ の層は、クラッド 77 の直径の 2-3 倍でなければならず、それゆえに、電極 184-187 へ電界を印加すると、ファイバ 14 に回転屈折が生じる。電極 186 および 187 は接地され、かつ電極 185 は、発振器 192 から、周波数 f を有する電気信号を受ける。位相シフト 194 は、発振器 192 と電極 184 との間に接続される。位相シフト 194 の出力は、好ましくは、入力から 80° だけシフトされた位相であり、それゆえに電極 184 および 185 は、そこに印加される、 80° の位相差がある電気信号を有する。

PVPF₂ ジャケット 182 の厚さが、ファイバクラッド 77 の直径の 2-3 倍であれば、電極 186 および 187 が接地されていて、電極 184 および 185 に 80° 位相がずれた信号を印加すると、PVPF₂ ジャケット 182 に、 90° 位相

特開昭61-230024 (14)

がずれている2つの電界ベクトルを生じる。その結果生じる電界は、発振器の周波数 f で回転する。電界ベクトルによって、P V F₂材料は、ファイバ14のまわりで収縮し、一般に、楕円構成を形成する。

回転電界ベクトルは、ジャケット材料182に作用し、かつ回転力ベクトルを生じる。回転力ベクトルは、ジャケット182およびファイバ14に、回転応力の場を生じる。回転応力は、光学ファイバ14のコアに、回転歪の変化を生じさせ、それは、光弾性効果によって、屈折率を応力の方向に変化させる。それゆえに、回転応力の場は、ファイバ14の回転歪屈折を生じさせる。複屈折材料を介して伝搬する光波は、複屈折に依存する位相シフトを被ることは周知である。

第15図は、第2ファイバ光学周波数シフタ196を図解し、これは、第4図の周波数シフタ180の変形である。電極198は、ファイバクラッドの周囲でコーティングされ、かつ接地される。発振器192は、対向する電極184および18

2と電極202および205との間に接続される120°位相シフタ208、および発振器192と電極203および206との間に接続される120°の位相シフタ209は、所望の位相差を提供する。第16図の電極構成は、第15図の実施例で可能であるより高い値を、ジャケット182として使用することができる。第16図に示される実施例の電極184-187および198は、ファイバに正反対の導付けを加え、その結果、単に2つの垂直なファイバの導付けとなるが、ジャケット182の材料が、ファイバクラッド17の直径の2-3倍より小さい場合には、回転複屈折はない。第17図の電極の構成は、ファイバに2つの垂直な導付けを加えない。それゆえに、それぞれ、発振器192によって直接電極201および204、かつ120°位相シフタを介して電極202および205、かつ120°位相シフタを介して電極203および206を駆動することによって、ジャケット182およびファイバコア175に、回転電界および回転複屈折を容易に生じ

6に直接接続され、かつ90°の位相シフタ194を介して、電極184および186に接続される。第18図の電極の構成の利点は、電圧発振器192の同じ出力、およびジャケット182の厚さに対して、第4図の実施例で可能であるより高い電界を、ジャケット182に提供することである。ジャケット182の電界は、接地された電極と接地されていない電極との間の距離に反比例している。第15図に示されるように、ファイバのまわりに接地された電極198を有しているため、接地された電極と接地されていない電極との間の距離は、第14図の構成の場合より低い。

第16図を参照すると、この発明によって、6つの実質的に同一の電極201-206を用いる周波数シフタ200を構成することが可能である。中央の電極198が、第16図に示されるように接地される。接地されていない電極201-206は、発振器、たとえば発振器192によって駆動され、隣接する電極は、互いに120°位相がずれている信号によって駆動される。発振器19

る。
出力発振器192の電圧を適当に制御し、かつジャケット182の厚さおよび長さを適当に選択することによって、長径のファイバ14の複屈折を制御することが可能であり、それゆえに、それは入力光波に対する回転2分の1波板であるように思われる。ジャケット182の長さは、ファイバ14およびジャケット182を含む材料の機械および電磁特性によって一部決定される。ジャケット182の長さを決定する際に他に考慮すべきことは、ジャケット182に印加されるピークの電圧、およびジャケット182の絶縁破壊の強さである。ファイバの複屈折はまた、ジャケット182の大きさを決定する際に考慮しなければならない要素である。理想的な場合は、ジャケット182に囲まれるファイバ14の長さが、ピークの印加される電界において、明らかに波長の2分の1であることである。

第17図を参照すると、ファイバ光学周波数シフタ212は、半結合器219に誘導して渡され

特開昭 61-230024 (15)

る電気-光学活性屈折材料のブロック 214 を含む。半結合器 216 は、長手方向のファイバ 14 を含む。コア 75 およびクラッド 77 は、サブストレーツ 236 のスロット 244 内に配設され、このファイバ 14 は、好ましくは石英のブロックである。クラッド 77 の部分は、図 224 の外部領域で、ファイバ 14 から除去され、相互作用領域 228 を形成している。図 224 は、第 2 図に示されるように、好ましくは、凸面状に曲げられる。図 224 は、第 17 図に示されるように、矩形的断面を有してもよく、または図 224 は、他の都合の良い断面形状を有してもよい。半結合器 216 の形成は、通常、最初に、第 2 図の半結合器 70 および 72 を形成するために用いられるステップと類似のステップを含む。

ファイバを伝搬する光のエバネセントフィールドが透過する、ブロック 214 の比較的小さい部分 232 のみが、光学ファイバ 14 の屈折率に影響する。図 233 で示されるように、関係する領域は、コア 75 に中心がある約 10 ミクロンの

半径を有する円型である。入力光線の位相特性のみが、ファイバ 14 の光とブロック 214 との相互作用において重要である。

ブロック 214 は、電気-光学活性屈折材料、たとえばリチウムニオブ塩酸から形成される。好ましくはブロック 214 は、亜硫酸ナトリウムまたは二チオン酸カリウムのような材料から形成され、それらの材料は、ファイバ 14 と類似の屈折率を有する。屈折材料が、非屈折ファイバを伝搬する光のエバネセントフィールドに置かれるとき、複合構造は屈折となる。屈折材料の主軸は、複合構造の主軸を定める。ファイバ 14 が単一モード光学ファイバであれば、ファイバ 14 は、電気および磁気ベクトルが、主として、ファイバ 14 を介して光の伝播方向に通過するモードのみを案内する。それゆえに、ファイバ 14 のフィールドは、ファイバコア 75 を横切って向けられ、かつクラッド 77 内にエバネセントフィールドを有する。エバネセント波は、互いに直交し、かつ屈折電気-光学材料のブロック 214 の主

軸に沿ってある 2 つのコンポーネントから形成されるとみなされる。

第 17 図を再び参照すると、電極 252 は、クラッド 77 と接触して、図 224 の底部に位置決めされる。電極 252 は、第 17 図に示されるように、平坦であってもよく、またはクラッド 77 の湾曲した形に適合してもよい。

電気-光学活性材料のブロック 214 は、そこに付着される複数の電極 238, 240 および 242 を有する。電極 238 は、第 17 図に示されるように、一般に相互作用領域 228 と平行に並列されて、ブロック 214 上に置かれる。電極 240 および 242 は、ブロック 214 の端部図 244 および 246 にそれぞれ設置される。

第 17 図に示されるように、電極 240 および 252 は接地される。発振器 248 の出力は電極 238 に、および位相シフト 250 に直接接続される。位相シフト 250 は、好ましくは、入力から 90° だけ位相シフトされる出力を生じる。位相シフト 250 の出力は、電極 242 に接続され、

そのため電極 238 および 242 は、90° 位相が外れている電圧によって駆動される。

屈折材料 214、および相互作用領域 228 の長さが正確に選択され、それから電極 240 および 252 が接続されている状態で、発振器 248 から直接電極 238 に、および位相シフト 250 を介して電極 242 に電圧が印加されれば、回転 2 分の 1 波長板を、実際、ファイバ 14 に形成することができる。90° 位相の外れた電圧を電極 238 および 242 に印加すると回転電界を形成し、それによって電気-光学活性屈折材料 214 は、そこで回転屈折となる。ブロック 214 の屈折率は、周波数シフト 712 の屈折率を定めるため、ファイバ 14 中を伝搬する光は、相互作用領域 228 に隣接するコア 75 の部分を介して移動するとき回転屈折に出くわす。相互作用領域 228 を介して伝搬する円形に偏光された光は、上で説明したように、位相シフトを被る。

振動が、回転屈折、または入力光の偏光状態に存在すれば、調波は、周波数シフト動作中に発

特開昭61-230024 (16)

生される。

サブストレート216に設置されるファイバ14を有することなく、エバネセントフィールド周波数シフトを形成することは可能である。グラッド77の所望の部分は、相互作用領域228を形成するために接続されてもよい。電極252は、ファイバ14に直接接合され、かつ電極238-242は、波面折ブロック214に接合されてもよい。

相互作用領域228は、周波数 $f_0 \pm 2f$ を有する出力波を生じるために、明らかに半波長の奇数倍に等しい長さを有しなければならず、ここで f は発振器の周波数である。相互作用領域228の長さが半波長の奇数倍でなければ、搬送周波数 f_0 の一部分は、周波数シフト212を介して伝送される。

第14-第17図の周波数シフト40の出力の振幅は、次の式によって与えられる。

$$\Phi(t) = A \exp[j(f_0 + 2f)t] + B \exp[jf_0 t] \quad (4)$$

ビームは、ビームスプリッタ258上に入射され、これは、たとえば、入射光のほぼ90%をまっすぐに伝送し、一方入射光のほぼ10%を偏光器260上に反射してもよい。

出力強度の望ましくない部分は、入力波と同じ偏光を有し、一方出力強度の所望の部分は、反対の偏光を有する。偏光器260は、各波の一部分だけ伝送する。偏光器260の出力は光検出器262上に入射され、その光検出器262は、方程式(6)の第3項を示す調変信号を出力する。

調変信号は、ロックイン増幅器264に入力される。電源266は、電圧 V を電圧制御発振器268に供給し、その電圧制御発振器268は、電圧 V の関数である周波数 f を有する発振電圧を生じる。電圧制御発振器268の出力は、可変利得増幅器270によって増幅され、周波数シフト254および2倍器272に制御信号を与える。2倍器272は、 $2f$ の周波数を有する出力信号をロックイン増幅器264に与え、それによって、ロックイン増幅器264は、方程式(6)の第3

出力法の強度は振幅の二乗であり、かつ次の式によって与えられる。

$$I = | \Phi(t) |^2 \quad (5)$$

$$= A^2 + B^2 + 2AB \cos(2ft) \quad (6)$$

係数 A は、通常 B よりはるかに大きく、そのため、 B^2 は無視することができる。第18図は、周波数シフト254の出力周波数を制御して、望ましくない搬送周波数コンポーネントを最小にするフィードバック制御システム253を説明する。周波数シフト254は、第14図-第17図に示される周波数シフト180、190、200、および212のいずれであってもよい。

周波数シフト254は、その上に、光線から f の周波数の光線が入射される。入射波は、光線14から周波数シフト254に向かって見て右回りの円形の偏光を有する。周波数シフト254からの振幅出力は、方程式(1)によって与えられる。項 $B \exp[jf_0 t]$ は、周波数シフト254を介して伝搬している搬送入力信号の望ましくない部分を含む。周波数シフト254の出力

項の周波数である周波数 $2f$ を有する信号のみ増幅させる。ロックイン増幅器264の出力は、方程式(6)の第3項、 $2AB \cos(2ft)$ の係数、 $2AB$ に比例する電圧である。ロックイン増幅器264の出力は、フィルタ274を介して、1つの接地された入力を持つコンパレータ276まで通過する。それゆえに、コンパレータ276へ入力される $2AB$ に比例する電圧が零でなければ、コンパレータ276は、負のフィードバック信号として、可変利得増幅器270の利得制御へ入力される出力電圧を生じ、周波数シフト254への制御信号入力の電圧を増加するかまたは減少する。ネガティブフィードバック信号は、係数 B を減少させ、これによって調変信号が減少し、かつ周波数シフト254の出力は、所望の周波数を有する。

ファイバ光学ジャイロスコープ10に用いられる周波数シフト300の他のタイプを、第20図に示す。周波数シフト300は、アルミニウムのような材料から形成されるブロック304と、融

特開昭61-230024 (17)

解石英のような材料から形成されるブロック306との間に保持される最長の光学ファイバ302を含む。光学ファイバ302は、好ましくは、光学周波数範囲で、単一モードの電磁エネルギーを伝播するように形成される。石英ブロック306は、好ましくは、楔形の構成を有するように形成され、そのため、ブロック308の第1表面308は、光学ファイバ302と接触させ、かつブロック308の第2表面は、ファイバ302の長手方向軸に対してある角度をなして配向される。アルミニウムブロック304は、どのような所望の形を有してもよく、図解のためにのみ、矩形的横断面を有するように示す。たとえばCr-Auを含む金属膜312は、表面310上に形成され、かつたとえばPZTから形成されるトランスデューサ314は、金属膜312上に設置される。PZTトランスデューサ314は、表面318上に形成され、石英ブロック306の表面310から向きが逸れているCr-Auの金属膜を有してもよい。トランスデューサ314は、適当な発振器316によ

って駆動され、ファイバ302に音波を送り出してもよい。

ファイバ302は、単一モードファイバであり、単一伝播モードの2つの直交する偏光を支える。ファイバ302は複屈折であるので、ファイバの境界の異なる方向に対して、異なる屈折率を有する2つの偏光がある。2つの偏光は、正常に分離され、そのため一方の偏光から他方の偏光にエネルギーは転送されない。ファイバ302にかかる空間的に周期的な応力パターンは、2つの偏光の間の結合を誘起し、それらの間でパワー転送をすることになる。パワー転送は、応力パターンの空間周期が、ファイバ302のビート長さに等しい場合のみ発現すると考えられている。光学ファイバ302のビート長さは、 $L_B = \lambda / \Delta n$ であり、ここで Δn は2つの偏光に対する屈折率の差であり、かつ λ は光学波長である。応力パターンは、応力が複屈折の主軸に対して45°で向けられるとき2つの偏光の結合を生じさせるのが最も効果的であると考えられている。

トランスデューサ314は、移動している音波によって、ファイバ302に移動応力パターンを形成する。応力パターンが、ファイバに沿って移動すれば、結合領域の動きのため、一方の偏光から他方の偏光に結合される光は、移動応力パターンの周波数に等しい量だけ周波数シフトされる。お照に便利のように、偏光の一方を「低」と呼び、かつ他方の偏光を、「高」と呼ぶ。絶縁媒体における光波の速度は、絶縁の屈折率によって割られた光の自由空間速度、すなわち $v = c/n$ である。それゆえに、複屈折媒体において屈折率が大きい方の偏光は低速であり、かつ屈折率が小さい方の偏光は高速である。

第19図を参照すると、ライン320は、ファイバ302に入射される波長 λ_0 の平面波頭を表わす。位相整合は、音波の伝播方向に、ビート長さ L_B のコンポーネントが音波長に等しいとき生じる。それゆえに、第19図から、 $L_B \sin \theta = \lambda_0$ が見られる。伝播間の関係を用いて、前の方程式から音波長を除去するために、周

波数および波長は、音波周波数を $\omega = v / (L_B \sin \theta)$ として与え、ここで v はファイバ302での音波速度である。

音波とファイバ302によって伝播される2つの光学偏光との間の相互作用の固有の性質を、周波数-波数図面を用いて説明することができる。第21図を参照すると、音波がファイバ302での光と同じ方向に移動すれば、高速モードで偏光され、かつ周波数 ω を有する光は低速モードに結合し、その結果生じた波は周波数 $\omega + \omega_a$ を有し、ここで ω_a は、音波周波数である。低速モードで伝播する光は高速モードに結合し、かつ $\omega - \omega_a$ に周波数シフトする。

第22図に示されるように、音波がファイバでの光の方向と反対の方向に伝播すれば、そのシステムの周波数シフティング特性は逆になる。特定の、高速モードで伝播する光は低速モードに結合し、周波数は $\omega - \omega_a$ に変わり、かつ低速モードで伝播する光は高速モードに結合し、周波数は $\omega + \omega_a$ に変わる。

特開昭61-230024 (18)

それゆえに、1つの偏光の光が、周期的な移動応力パターンを有するファイバ302の部分に衝突すると仮定すれば、周波数シフト300は、単調変調周波数シフトである。実際には、選択された偏光は、偏光器の有限消滅率のために、ジャイロスコープ10および他の要素の中に、反対の周波数シフトを有する、小さい量の逆変調周波数および側波帯を有してもよい。

動作方法

ジャイロスコープシステム10およびその様々なファイバ光学コンポーネントを説明してきたので、ファイバ光学ジャイロスコープ10の動作方法を詳細に説明する。

右方向の光学波は、位相変調器80を介して時間1で通過し、これによって $\phi_m \sin \omega_m t$ の位相シフトが生じ、ここで ϕ_m および ω_m は、それぞれ位相変調器80によって出力される信号の振幅および周波数である。線形偏光器36および42は直交している。たとえば、線形偏光器36がx偏光を伝播すれば、線形偏光器42はy偏光

を伝播する。偏光器42および偏光制御器46は、偏光制御器46のサーボ制御のため高価率で、制御回路44によって右回り波をy偏光に変換し、その制御回路44は、偏光器42から誤差信号ピックアップを用いて偏光制御器40を制御し、所望のy偏光を伝播する。周波数シフト40は、第12図および第13図に関連して説明されるように、右回り波の周波数を、 f_0 から Δf にシフトし、かつ右回り波の偏光を、yからxに変化させる。偏光制御器34は、制御回路36および偏光器36上の誤差信号ピックアップの働きの下で、x偏光右回り波を、偏光器32で線形である偏光状態に変換し、相反性のため、制御回路36のための誤差信号を形成する。右回り波は次に、方向性結合器28、偏光器22および方向性結合器18を介して通過し、光検出器48上に入射する信号を生じる。光検出器28上に入射する右回り波の全位相は、次の式によって与えられ、

$$\phi_{CW} = 1/2 \phi + \phi_m \sin \omega_m t + 2\pi f_0 T \quad (1)$$

で伝播する。左回り波の全位相は、

$$\phi_{CCW} = -1/2 \phi + \phi_m \sin \omega_m (t + T) + 2\pi (f_0 + \Delta f) T \quad (8)$$

であり、その位相は、既に規定されている。検出器48からの光電流または電気信号Sは、好ましくはフォトダイオードであり、その上に入射される右回り波および左回り波のどちらも、

$$S = 1/2 S_0 (1 + \cos (\phi_{CW} - \phi_{CCW})) \quad (9)$$

であり、Sは振幅定数である。

$\omega_m = \pi / T$ を選ぶことによって、方程式(9)の信号は、次のようになる。

$$S = 1/2 S_0 (1 + \cos (\phi_S + 2\pi \Delta f T + 2\phi_m \sin \omega_m t)) \quad (10)$$

コヒーレント復調器52によって、位相変調器30を駆動する発振器50からの $\sin \omega_m t$ の基準信号と同相にコヒーレント復調した後、復調器48の出力は次のようになる。

$$S_\omega = S_0 J_1 (2\phi_m) \sin (\phi_S + 2\pi \Delta f T) \quad (11)$$

ここで f_0 はソースの周波数であり、かつTはループ28のまわりの伝播時間であり、かつ ϕ_S はサグナック位相シフトである。左回り波は、偏光制御器34を介して通過し、かつ偏光制御器34のサーボ制御のため高価率で、偏光器38からの誤差信号ピックアップを用いる制御回路38によってx偏光され、偏光制御器34への入力のための制御信号を生じ、所望のx偏光された出力を生ずる。左回り波の周波数は、周波数シフト40を介して通過した後、 $f_0 + \Delta f$ となる。周波数シフト40はまた、左回り波の偏光を、xからyに変化させる。線形偏光器42および偏光制御器46は、左回り波が感知ループを通過し、かつ相反性のため偏光器22上に入射された後、左回り波を、線形である偏光状態に変換する。左回り波は、位相変調器を介して時間 $t + T$ で通過し、Tは上で規定されている。左回り波は、位相変調器で、 $\phi_m \sin \omega_m (t + T)$ の位相シフトを受ける。左回り波は、方向性結合器28を介して、線形偏光器22および方向性結合器28を光検出器48まで

特開昭61-230024 (19)

ループエレクトロニクス回路54は、すべての ϕ_g に対して $S_{\omega} = 0$ を有するような態様で、 f と関係のある電圧制御発振器58の出力を連続的に調整する。それゆえに、

$$\sin(\phi_g + 2\pi\Delta f T) = 0 \quad (12)$$

であり、さらに次のような結果を与える。

$$\phi_g = -2\pi\Delta f T$$

システムパラメータによるサグナック位相シフトは、

$$2\pi L D \Omega / (1c) = -2\pi\Delta f \Omega L / c \quad (14)$$

となり、それゆえに、 $\Omega = -\lambda \Delta f / D$ であり、ここで λ は自由空間ソース波長であり、 Ω は導波モードの実効屈折率であり、かつ D は感知ループ32の直径であり、 Ω は感知ループ32の入力回転速度であり、かつ c は光の自由空間速度である。このように、電圧制御発振器58の出力周波数は、感知ループ32の回転速度に線形に比例する。さらに、ジャイロシステム10は速度積分である。電圧制御発振器58によって出力される周波数 Δ

f の波形の各サイクルは、感知ループ32の回転における固定の角度増分に等しい。距離構成は校正され、かつ角回転速度および角位置を与える読出装置、たとえばカウンタ55およびディスプレイ7を含む。

上述の分析から、位相シフト40はD.C.のまわりで動作すると仮定される。第28図を参照すると、位相シフト40が中間周波数のまわりで動作すれば、偏光制御器34、偏光器38、周波数シフト40、偏光器42および偏光制御器46は、位相変調器30と感知コイル32との間で偏光制御器34A、偏光器38A、周波数シフト40A、偏光器42Aおよび偏光制御器46Aによって、二重にされなければならない。そのためカウンタ伝搬波は同じ光学通路を横切る。各周波数シフトから方向性結合器26までの距離は、ジャイロシステム10でのバイアスドリフトを避けるために同一でなければならない。

本質的な動作特性は、右回り波および左回り波は、同じ偏光通路を含む同一の光学通路を横切り、

を有する。

ループ32は、好ましくは、中心の巻きは内部で、かつ外側の巻きは外部で巻かれ、そのため環境変化、たとえば変化する温度勾配および変分による妨害を効果的に取消するために、巻線は対称である。感知ループ32の好ましい構成では、ファイバ14は、感知コイル32の両端に自由に接近可能である。感知ループは、2つの供給ロールとなるようにファイバ14を形成することによって巻かれ、その各々は、ファイバ14のほぼ半分の長さを含んでもよい。中心で開始すると、ファイバ14は2つのロールからスプール上に巻かれ、または反対方向に形成し、感知コイル32を形成する。巻線がスプール上に形成するとき、ファイバ14の両端部は、既にコイルの外側にある。

方向性結合器28のポート1から放射する出力波の振幅は、互いに逆方向に伝播する波の間の位相差を示す。ループの回転による位相シフト以外の望ましくない位相シフトを除去するために、同じ光学通路を移動する互いに逆方向に伝播する波

かつ周波数シフト f は、右回り波と左回り波とが方向性結合器26で再び結合されるとき、その間の位相差を零にするように調整されるということである。回転速度はそれから、所望の零位相差を戻し始めるのに必要な周波数シフトの量によって定められる。周波数シフトによって、そこを介して通過する光に周波数シフト f が生じ、それが電圧制御発振器58によって出力される信号の周波数の関数である。それゆえに、回転速度を知るのに必要なものは、ソース波長、ファイバ14での導波モードの実効屈折率、および感知ループの直径である。

光学ファイバ14は、好ましくは、単一モードファイバであり、たとえば、約80ミクロンの外部クラッド直径、および約5ミクロンのコア直径を有する。感知ループ32は、スプールまたは他の適当な支持物（示されていない）のまわりで巻かれる複数の巻を含む。好ましい実施例では、感知ループ32は、約7cmの直径を有する形の上で巻かれるほぼ2、800巻の単一モードファイバ

特開昭 61-230024 (20)

の部分のみ検出することが可能であり、それによって、環境条件、たとえば温度変動による光学通路の歪み変化が、右回り波と左回り波との両方の位相を等しくもたらすことを保証する。ポート 1 を介して偏光器 22 から出て行く互いに逆方向に伝搬する波の部分は、同じ光学通路を移動し、かつ偏光制御器 34、偏光器 38、制御回路 38、偏光制御器 46、偏光器 42 および制御回路 44 は、感知ループ 32 への投入力、および感知ループ 32 からの出力は、偏光の 1 つの状態を有することを保証する。

位相変調器 30 は、互いに逆方向に伝搬する波の位相を変調し、出力信号をバイアスし、かつジャイロシステム 10 の感度を改良し、かつ感知ループ 32 の回転方向を指示する。位相変調器 30 は、典型的に、公知の態様で、ファイバ 14 の長さまたは屈折率を制御する圧電トランスデューサ（示されていない）を含む。発振器 50 は、適当な電圧レベルおよび周波数、たとえば、12 ボルト RMS の電圧および 12.5 kHz の周波数で、

は、感知ループ、およびループの角回転速度および角速度を定めるために、感知ループの出力を処理する装置を含む。

第 2 図は、第 1 図のファイバ光学ジャイロスコープに含まれるファイバ光学方向性結合器の概略表示である。

第 3 図は、第 2 図のライン 3-3 についての横断面図である。

第 4 図は、第 1 図のファイバ光学ジャイロスコープに含まれる偏光制御器を概略的に図解する。

第 5 図は、第 1 図のファイバ光学ジャイロスコープに含まれる第 2 偏光制御器の斜視図である。

第 6 図は、第 5 図の偏光制御器の一面分の横断面図である。

第 7 図は、第 1 図のファイバ光学ジャイロスコープに含まれる偏光制御システムの概略表示である。

第 8 図は、第 7 図の偏光制御システムの部分的な横断面図である。

第 9 図は、第 7 図の偏光制御システムの動作特性

図解信号を与える。位相変調器の振動は、2 つの互いに逆方向に伝搬する波に対して同一であるが、相対位相差は、感知ループ 32 を介する伝搬時間のため、2 つの波間に生じる。

図解された実施例では、ファイバ光学コンポーネントのすべては、システムの全体を通じて連続して延びるファイバ 14 を用いて形成される。ファイバ光学コンポーネントは、ファイバ光学技術において周知であるように、別々に形成され、かつ紫外線硬化接着剤で接着することによって、ともに接続される。現在入手可能なファイバ接続装置（示されていない）のため、光学ファイバは、スプライスでのエネルギー損失がほぼ 1% で、ともに接続することができる。しかしながら、ファイバ 14 は、好ましくは、スプライスでの反射および散乱によるノイズを除去するために、連続ストランドである。

4. 図面の簡単な説明

第 1 図は、閉ループの概略表示であり、この説明によるすべてのファイバ光学ジャイロスコープ

の概略表示である。

第 10 図は、第 1 図の偏光器システムの概略表示、および制御回路のブロック図である。

第 11 図は、第 10 図の制御回路構成への誤差信号出力を、様々なパラメータの動きとしてグラフで図解する。

第 12 図は、図解 2 分の 1 波長板を用いて、光波の周波数シフトを概略的に図解する。

第 13 図は、図解 2 分の 1 波長板を用いて、可能な周波数シフトをグラフで図解する。

第 14 図は、第 1 図のファイバ光学ジャイロスコープに含まれる周波数シフトを図解する。

第 15 図は、第 1 図のファイバ光学ジャイロスコープに含まれる第 2 ファイバ光学周波数シフトを概略的に図解する。

第 16 図は、第 1 図のファイバ光学ジャイロスコープに含まれる第 3 周波数シフトを概略的に図解する。

第 17 図は、第 1 図のファイバ光学ジャイロスコープに含まれる第 4 ファイバ光学周波数シフト

特開昭61-230024 (21)

を概略的に図解する。

第18図は、第15図-第18図の周波数シフタの周波数出力を制御するために用いられる回路構成のブロック図である。

第19図は、光学ファイバに入射する光波を図解する。

第20図は、第1図のファイバ光学ジャイロスコープに含まれるバルク波周波数シフタを図解する。

第21図は、第20図の周波数シフタ中を音波と同じ方向に伝搬する光に対する、周波数と波数との関係のグラフ表示である。

第22図は、第20図の周波数シフタ中を音波と反対の方向に伝搬する光に対する、周波数と波数との関係のグラフ表示である。

第23図は、第1図のファイバ光学ジャイロスコープに含まれる第2感知ループを図解する。

図において、1ないし4はポート、10はジャイロスコープシステム、12はコヒーレント光ソース、14、50、60および802は光学ファ

イバ、16、34、48および150は偏光制御器、18および26は方向性結合器、22、36、42および260は屈折器、24、38、44および54は制御回路、30は位相変調器、32は感知ループ、54はループエレクトロニクス回路、40、120、185、200、206、212、254および300は周波数シフタ、43、144、146および262は検出器、50、192、248および316は発振器、52はコヒーレント復調器、56および268は電圧制御回路、55はアップダウンカウンタ、57は表示装置、66、68、78、215および236はサブストレート、70、72および216は半結合器、17は2分の1波長板、74、86および228は相互作用領域、75はコア、77はクラッド、89は結晶、90は結晶ファイバ界面、103ないし105はスプール、99ないし102、214、304および306はブロック、98はベース、109ないし111はコイル、106ないし108はシャフト、126ないし128、130

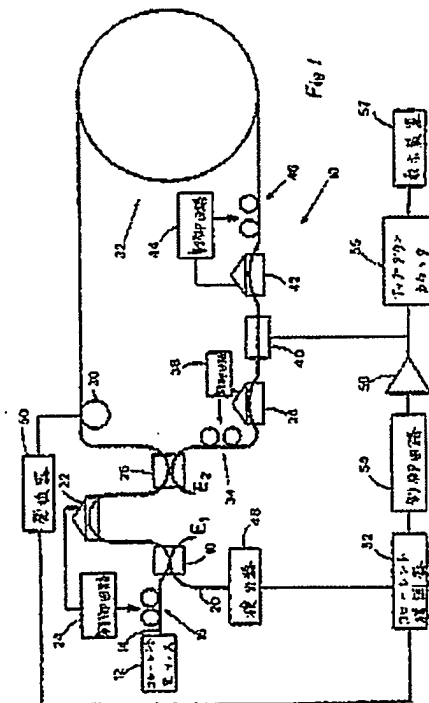
および132はファイバスイッチ、124はアクチュエータ、136はアパーチャ、138はフレーム、152は逐次増進回路図、152および164は結晶ドライバ、182はジャケット、190は絶縁物、52、64および84は増、224はスロット、228は波長折材料、253はフィードバック制御回路、258はビームスプリック、264はロックイン増幅器、270は可変利得増幅器、272は2倍器、276はコンパレータ、194、244、200および250は位相シフタ、312は全偏置、314はトランジスタ、184ないし187、198、201ないし206、214、238ないし242、252、266、304および306は電極である。

特許出願人 リットン・システムズ・

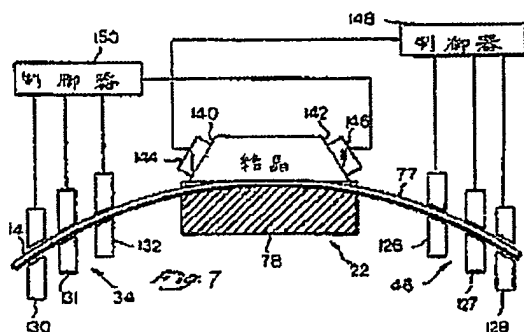
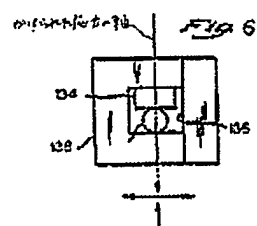
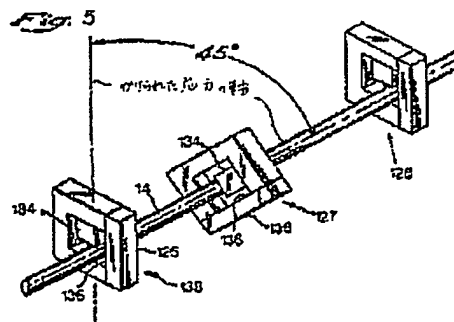
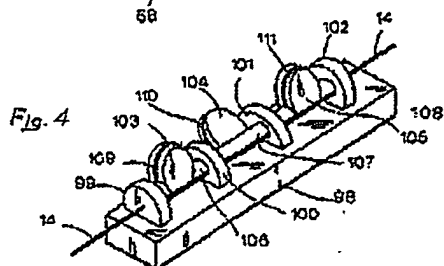
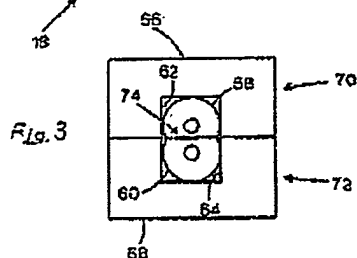
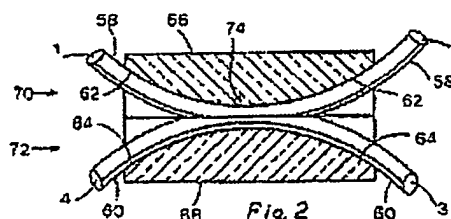
インコーポレーテッド

代理人 弁理士 深見久郎

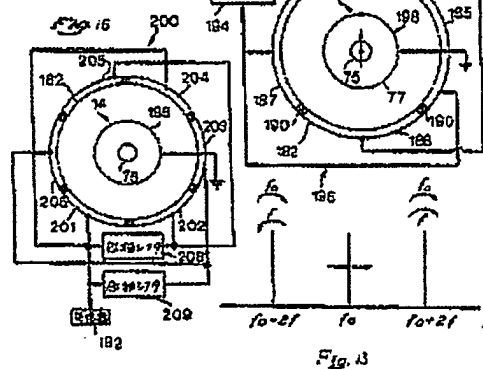
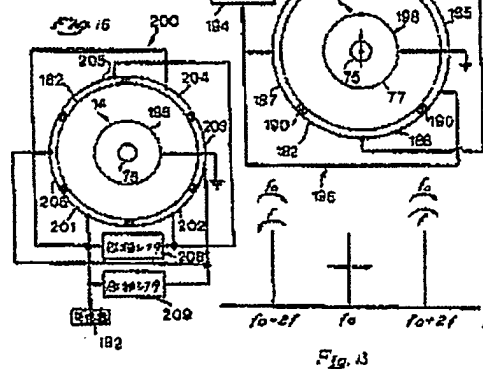
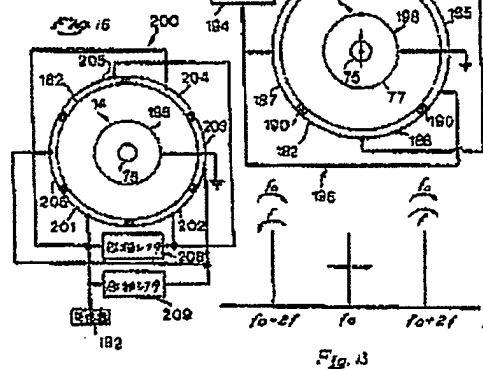
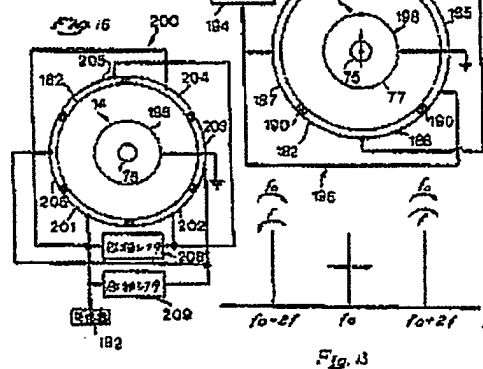
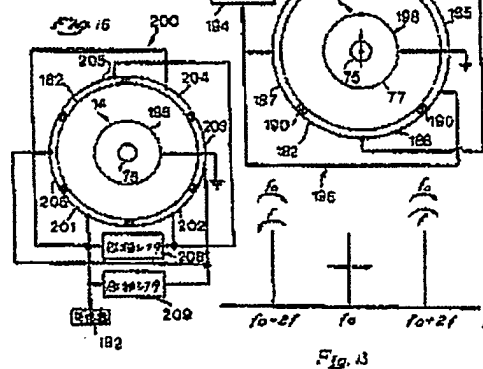
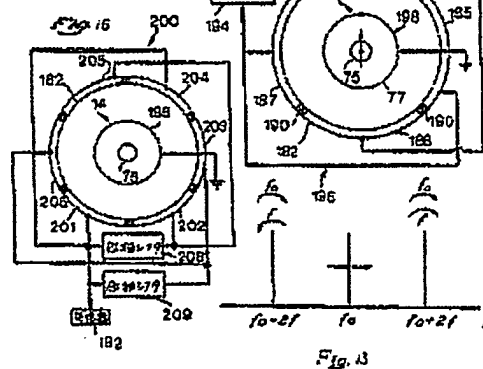
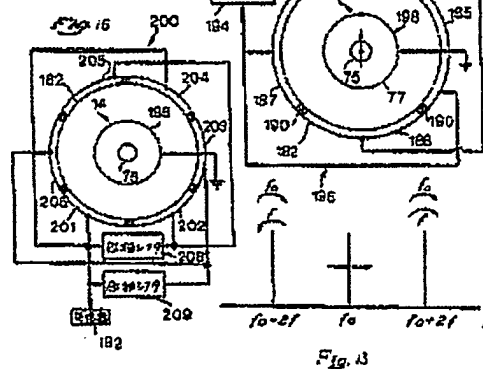
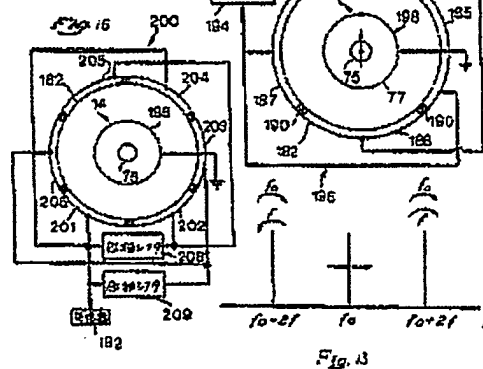
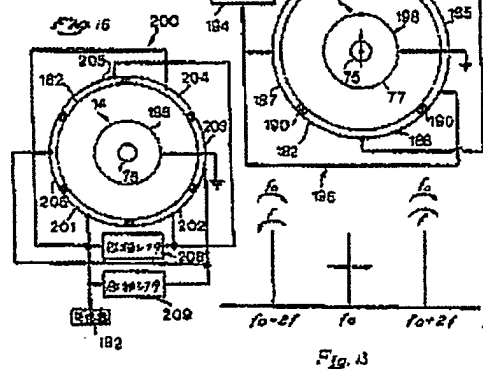
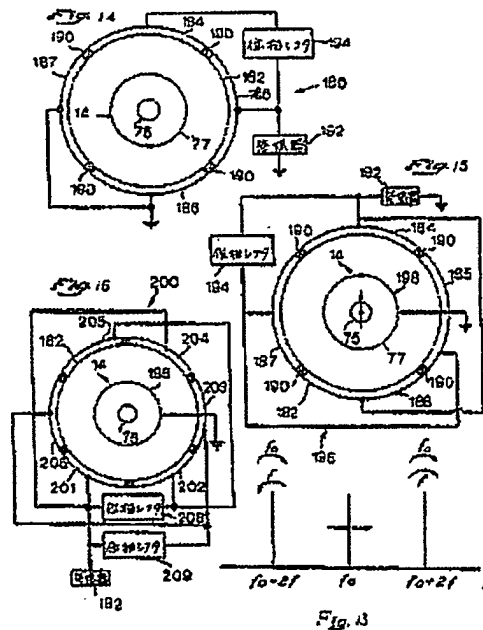
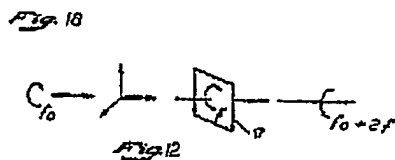
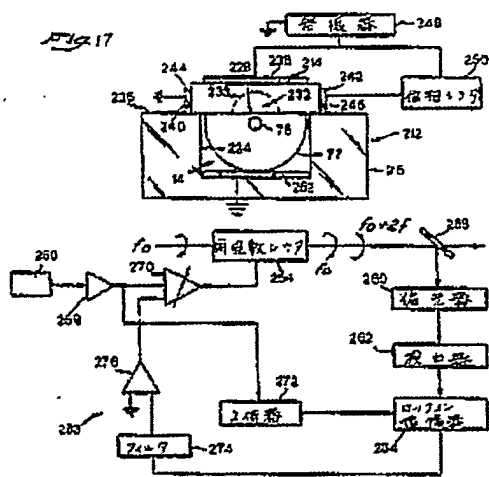
(ほか2名)



特開昭61-230024 (22)



特開昭 61-230024 (23)



昭 63. 2. 26 発行

特許法第17条の2の規定による補正の掲載

昭和 61 年特許願第 42791 号 (特開 昭 61-230024 号、昭和 61 年 10 月 14 日 発行 公開特許公報 61-2301 号掲載) については特許法第17条の2の規定による補正があったので下記のとおり掲載する。 6 (1)

Int. Cl. 1	識別記号	序内整理番号
G01C 19/64		7409-2P
G01P 9/00		C-8283-2F
H01S 3/083		7630-5F

6. 補正の対象

明細書の特許請求の範囲の欄

7. 補正の内容

明細書の特許請求の範囲を別紙のとおり。

以上

平 野 正 司

昭和62年11月19日

昭和62年11月19日

特許庁長官宛

1. 事件の表示

昭和61年特許願第42791号

2. 発明の名称

ファイバ光学回転センサ

3. 補正をする者

特許との関係 特許出願人

住 所 アメリカ合衆国、カリフォルニア州、ヒバリー・ヒルズ
ノース・クレセント・ドライブ、360

名 称 リットン・システムズ・インコーポレーテッド

代表者 ハロルド・イー・ギルマン

4. 代理人

住 所 大阪府東区平野町2丁目8番地の1 平野町八下ビル

電話 大阪(06)222-0381(代)

氏 名 井野士(6474) 関 見 久 郎

5. 補正命令の目的

自発補正



2. 特許請求の範囲

(1) 感知コイルが形成された長尺の光ファイバと、感知コイルの回転によって互いに逆方向に伝搬する光線間に位相シフトが生じるように、1対の互いに逆方向に伝搬する光線を感知コイルへ導入する装置とを備えるファイバ光学回転センサであって、位相シフトは、感知コイルの回転速度を所し、

長尺の光ファイバと相互作用するように形成され、互いに逆方向に伝搬する波の各々に周波数シフトを生じさせ、感知コイルの回転によって生じる位相シフトを補償するファイバ光学周波数シフト装置、および

ファイバ光学周波数シフト装置によって生じる周波数シフトを示す周波数シフト信号を生じさせ、感知コイルの回転速度を示す装置を備え、周波数シフト信号は、感知コイルの回転速度を示す周波数を有する振動信号であり、周波数シフト信号の各振動は、感知コイルの予め定められた増分角度

昭 63. 2. 26 発行

位を示し、かつ

光ファイバに形成され、互いに逆方向に伝搬する波の第1の波が感知コイルに衝突する前に第1の波の位相を調整し、かつ第2の波が感知コイルを介して伝搬した後第2の波の位相を調整する位相変調器をさらに備えることを特徴とする、ファイバ光学回転センサ。

(2) 互いに逆方向に伝搬する波を同一の光学経路に維持する装置をさらに備える、特許請求の範囲第1項記載のファイバ光学回転センサ。

(3) 互いに逆方向に伝搬する波を長尺の光ファイバの出力で一定の偏光状態に維持する装置をさらに備える、特許請求の範囲第2項記載のファイバ光学回転センサ。

(4) 互いに逆方向に伝搬する波の位相差を示す検出器信号を生じさせる検出器装置をさらに備え、ファイバ光学周波数シフト装置は、検出器信号を最小にするように、互いに逆方向に伝搬する波の周波数を調節する、特許請求の範囲第1項記載のファイバ光学回転センサ。

(5) ファイバ光学周波数シフト装置は、長尺の光ファイバに形成され、1対の互いに逆方向に伝搬する波の第1の波が感知コイルを横切った後、互いに逆方向に伝搬する波の第1の波の周波数をシフトする第1の周波数シフトを備える、特許請求の範囲第3項記載のファイバ光学回転センサ。

(6) 検出器装置は、

検出器信号を基準信号で復調し、誤差信号を生じさせるコヒーレント直列器、

基準信号を処理し、制御信号を生じさせる装置、および

制御信号に応じて、誤差信号を周波数シフトを与え、予め定められたしきい値以下に誤差信号を維持する装置を備える、特許請求の範囲第5項記載のファイバ光学回転センサ。

(7) 長尺の光ファイバに感知コイルを形成し、かつ感知コイルの回転によって1対の互いに逆方向に伝搬する光波間に位相シフトが生じるように、互いに逆方向に伝搬する光波を感知コイル

へ導入することを含む、ファイバ光学回転センサで回転を感知する方法であって、位相シフトは、感知コイルの回転速度を示し、

ファイバ光学周波数シフト装置を長尺の光ファイバと相互作用するように形成し、感知コイルの回転によって生じる位相シフトを補償するために、互いに逆方向に伝搬する波の各々に周波数シフトを生じさせ、かつ

感知コイルの回転速度を示しかつ感知コイルの回転によって生じる位相シフトを補償するために、ファイバ光学周波数シフト装置によって生じる位相変化を示す周波数シフト(位相変化)信号を生じさせるステップを含む、周波数シフト信号は、感知コイルの角変位の回転速度を示す周波数を有する振動信号であり、周波数シフト信号の各振動は、感知コイルの予め定められた増分角変位を示し、かつ

互いに逆方向に伝搬する波の第1の波が感知コイルに衝突する前に第1の波の位相を調整し、か

の波の位相を調整する位相変調器を光ファイバに形成するステップをさらに含むことを特徴とする、方法。

(8) 互いに逆方向に伝搬する波を同一の光学経路に維持するステップをさらに含む、特許請求の範囲第7項記載の方法。

(9) 互いに逆方向に伝搬する波を長尺の光ファイバの出力で一定の偏光状態に維持するステップをさらに含む、特許請求の範囲第8項記載の方法。

(10) 互いに逆方向に伝搬する波の位相差を示す検出器信号を生じさせ、かつ検出器信号を最小にするように互いに逆方向に伝搬する波の周波数をファイバ光学周波数シフト装置で調節するステップをさらに含む、特許請求の範囲第7項記載の方法。

(11) 長尺の光ファイバに形成され、1対の互いに逆方向に伝搬する波の第1の波が感知コイルを横切った後互いに逆方向に伝搬する波の第

昭 63. 2. 26 発行

を含むように、ファイバ光学周波数シフト装置を形成するステップを含む、特許請求の範囲第9項記載の方法。

(12) 検出器信号を基準信号でコヒーレントに復調し、誤差信号を生じさせ、

誤差信号を処理し、制御信号を生じさせ、かつ制御信号に応じて駆動信号を周波数シフト装置に与え、予め定められたしきい値以下に誤差信号を維持するステップを含む、特許請求の範囲第11項記載の方法。